

Berichte aus dem Institut für Meereskunde  
an der Christian-Albrechts-Universität Kiel  
Nr. 61

---

DOI 10.3288/IFK\_BER\_61

PHYSIKALISCH-OZEANOGRAPHISCHE PARAMETER  
IN DER WESTLICHEN OSTSEE  
– EINE LITERATURSTUDIE –

von  
MARIA SCHWEIMER

ISSN 0341 - 8561

Kopien dieser Arbeit können bezogen werden von:

Institut für Meereskunde  
Abt. Meeresphysik  
Düsternbrooker Weg 20  
2300 Kiel

Die hier auszugsweise vorgelegte Studie wurde von der Landesregierung Schleswig-Holstein in Auftrag gegeben und unter der Koordinierung der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH / Geesthacht am Institut für Meereskunde durchgeführt (M. SCHWEIMER: Physikalisch-ozeanographische Grundlagen zur Behandlung von Kühlwassereinleitungen im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste, GKSS, Geesthacht, 1977).

#### Danksagung

Herrn Prof. Dr. G. Siedler danke ich für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes in der Abteilung Meeresphysik am Institut für Meereskunde und den Kollegen der Abteilung für wohlwollende Anteilnahme.

Die Winddaten stellte freundlicherweise das Wetteramt Schleswig zur Verfügung.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	S. 4
2.	Kurze Charakteristik der Westlichen Ostsee	
2.1.	Morphologie	S. 6
2.2.	Hydrographie	S. 13
2.3.	Klima und Wetter	S. 29
3.	Aus der Westlichen Ostsee vorliegende Daten	
3.1.	Temperatur	S. 36
	Kommentar	S. 44
3.2.	Salzgehalt	S. 46
	Kommentar	S. 54
3.3.	Strömungen, Seegang, Gezeiten	S. 57
	Kommentar	S. 66
3.4.	Windverhältnisse	S. 67
	Kommentar	S. 71
3.5.	Diffusionskoeffizienten	S. 74
	Kommentar	S. 80
3.6.	Wärmehaushalt	S. 83
3.7.	Extremsituationen	S. 113
4.	Bibliographie	S. 119

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Tiefenlinien in der Kieler Bucht (Angaben in Metern)	S. 7
Abb. 2	Sedimentbedeckung in der Kieler Bucht aus: Seibold et al., 1971	S. 8
Abb. 3	Korngrößenverteilung verschiedener Sedi- menttypen auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz aus: Seibold et al., 1971	S. 10
Abb. 4	Abnahme des Sandanteils ( $>40 \mu$ ) bei zu- nehmender Wassertiefe nach: Werner in: Seibold et al., 1971	S. 12
Abb. 5	Schematische Darstellung des Vorrückens einer Ausstromfront durch die Kieler Bucht aus: Wattenberg, 1949	S. 16
Abb. 6	Schematische Entwicklung einer Einstrom- lage in der Kieler Bucht aus: Wattenberg, 1949	S. 17
Abb. 7	Salzgehaltsgang vom 9.-21.4.1938 bei den Feuerschiffen "Kiel" und "Fehmarnbelt" aus: Wattenberg, 1949	S. 18
Abb. 8	Schematische Darstellung der Ein- und Ausstromlagen im Schnitt durch die Kie- ler Bucht aus: Wyrтки, 1954	S. 18
Abb. 9	Jahresgang der Oberflächentemperaturen bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht aus langjährigen Beobachtungen	S. 20
Abb. 10	Oberflächenströmungen in der Beltsee und im Kattegat in Abhängigkeit von der Windstärke aus: Dietrich, 1951	S. 24
Abb. 11	Zirkulation in der Kieler Bucht aus: Machens, 1949	S. 23
Abb. 12	Häufigkeit der Windrichtungen (in %) bei 3 Beobachtungen pro Tag im Jahre 1966 an den Stationen Kiel-Holtenau, Feuer- schiff "Kiel", Feuerschiff "Fehmarnbelt" und Westermarkelsdorf/Fehmarn	S. 32
Abb. 13	Jährlicher Gang der Windstärke in der Kieler und Mecklenburger Bucht aus: Beitr. z. Klimatologie der Ostsee, 1940	S. 32
Abb. 14	Mittlere Tagessummen des Niederschlages in mm, Küstenstation Kiel aus: Defant, 1972	S. 34

Abb. 15	Jahresgang der Oberflächentemperatur an verschiedenen Stationen der Kieler Bucht	S. 45
Abb. 16	Monatsmittel des Oberflächensalzgehal- tes bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht	S. 55
Abb. 17	Vergleich der Windrichtungen zu den 8 <sup>00</sup> -Terminen an den Stationen Kiel- Holtenau, F.S."Kiel", F.S."Fehmarn- belt" und Westermarkelsdorf/Fehmarn für 1966	S. 72
Abb. 18	Vergleich zwischen Dekadensummen der effektiven Globalstrahlung vom F.S. "Fehmarnbelt" (1947-61) und gemittel- ten Monatssummen von den Stationen Hamburg, Braunschweig und Würzburg- Stein (1961-65) aus: Sturm, 1967 und LAWA, 1971	S. 91
Abb. 19	Vergleich verschiedener Verdunstungs- formeln	S. 106
Abb. 20	Tagesgang der Temperaturmittel im Fehmarnbelt aus: Weidemann, 1948	S. 114

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Häufigkeit der Windrichtungen 1904-38 in der Kieler und Mecklenburger Bucht (in %) aus: Klimatologie der Ostsee, 1940	S. 31
Tab. 2	Mittlere Windstärke der einzelnen Windrichtungen 1904-38 in Kieler und Mecklenburger Bucht (in Bft.) aus: Klimatologie der Ostsee, 1940	S. 33
Tab. 3	Beaufortäquivalente nach verschiedenen Quellen und Kriterien	S. 33
Tab. 4	Wassertemperatur - vorhandene Daten	S. 36
Tab. 5	Salzgehalt - vorhandene Daten	S. 46
Tab. 6	Strömungen - vorhandene Daten	S. 57
Tab. 7	Seegang - vorhandene Daten	S. 63
Tab. 8	Windverhältnisse - vorhandene Daten	S. 67
Tab. 9	Diffusionskoeffizienten - vorhandene Daten	S. 74
Tab. 10	Verschiedene Methoden zur Bestimmung von Diffusionskoeffizienten	S. 82
Tab. 11	Wärmehaushaltskomponenten - vorhandene Daten	S. 92
Tab. 12	Maximaltemperaturen bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht	S. 113
Tab. 13	Schleimünde 1914-38, Häufigkeit der Windstärke $\geq 8$ Bft in %	S. 116
Tab. 14	Travemünde 1914-38, Häufigkeit der Windstärke $\geq 8$ Bft in %	S. 116
Tab. 15	Häufigkeit hohen Seegangs (in %) beim Feuerschiff "Fehmarnbelt" 1923-35 aus: Klimatologie der Ostsee, 1940	S. 117
Tab. 16	Hohe Wasserstände an der deutschen Ostseeküste (in cm über NN) aus: Kannenberg, 1953	S. 118

## 1. Zusammenfassung

Die Sonderstellung der westlichen Ostsee im Austauschgebiet zwischen Nord- und Ostseewasser und die Abhängigkeit dieses Austausches von der Großwetterlage über dem Gebiet der Ostsee erschweren alle Untersuchungen zum genauen Verständnis des Wassermassenwechsels durch die Belte.

Deshalb wird zunächst eine kurze Charakteristik der bisher bekannten Eigenschaften der westlichen Ostsee gegeben. Aus der zugänglichen Literatur bietet dann eine weitgehend vollständige Zusammenstellung physikalisch-ozeanographischer Parameter (Wassertemperatur, Salzgehalt, Strömungen, Seegang, Windverhältnisse und Diffusionskoeffizienten) eine Übersicht über Messungen hydrographischer Daten in der westlichen Ostsee. Ferner werden verschiedene Berechnungsmethoden einzelner Wärmehaushaltskomponenten auf ihre Anwendbarkeit in der Kieler Bucht diskutiert und die Grenzen der in der westlichen Ostsee möglichen Variationen von Wassertemperatur, Salzgehalt, Wasserständen und anderer ozeanographischer Parameter aus der Untersuchung seit Beginn des Jahrhunderts aufgetretener Extremsituationen aufgezeigt.

Die einzelnen Datenlisten werden kommentiert, und insgesamt zeigt sich, daß die bisher gemessenen Daten nur zum Teil ausreichend sind, um die hydrographischen Verhältnisse der westlichen Ostsee zu untersuchen und eine vollständige Einsicht in den die Hydrographie bestimmenden Regelmechanismus zu erhalten.

### Summary

The variability of hydrographic parameters in the western Baltic is clearly influenced by the exceptional position of Kiel Bay in the exchange region of Kattegat and Baltic waters. Studies on the variability of watermasses tend to be complicated as this water exchange is driven by weather conditions in the Baltic area.

Thus first of all a short overview of the known features of Kiel Bay is given. Some data lists of oceanographic parameters such as water temperature, salinity, current, sea state, wind and diffusion coefficients are extracted from the literature, and an outline is given of measurements of hydrographic data in the western Baltic. Computation methods for components of heat exchange are discussed with respect to their applicability to Kiel Bay. Maximum variations of water temperature, salinity, water levels and others are shown by studying extreme situations in Kiel Bay since 1900.

The lists of data are briefly commented and in general it can be seen that the data collected up to now are only partly satisfactory for investigations of the hydrographical conditions of the western Baltic and do not allow a complete insight into the mechanisms controlling the hydrography of Kiel Bay.



## 2. Kurze Charakteristik der Westlichen Ostsee

### 2.1. Morphologie

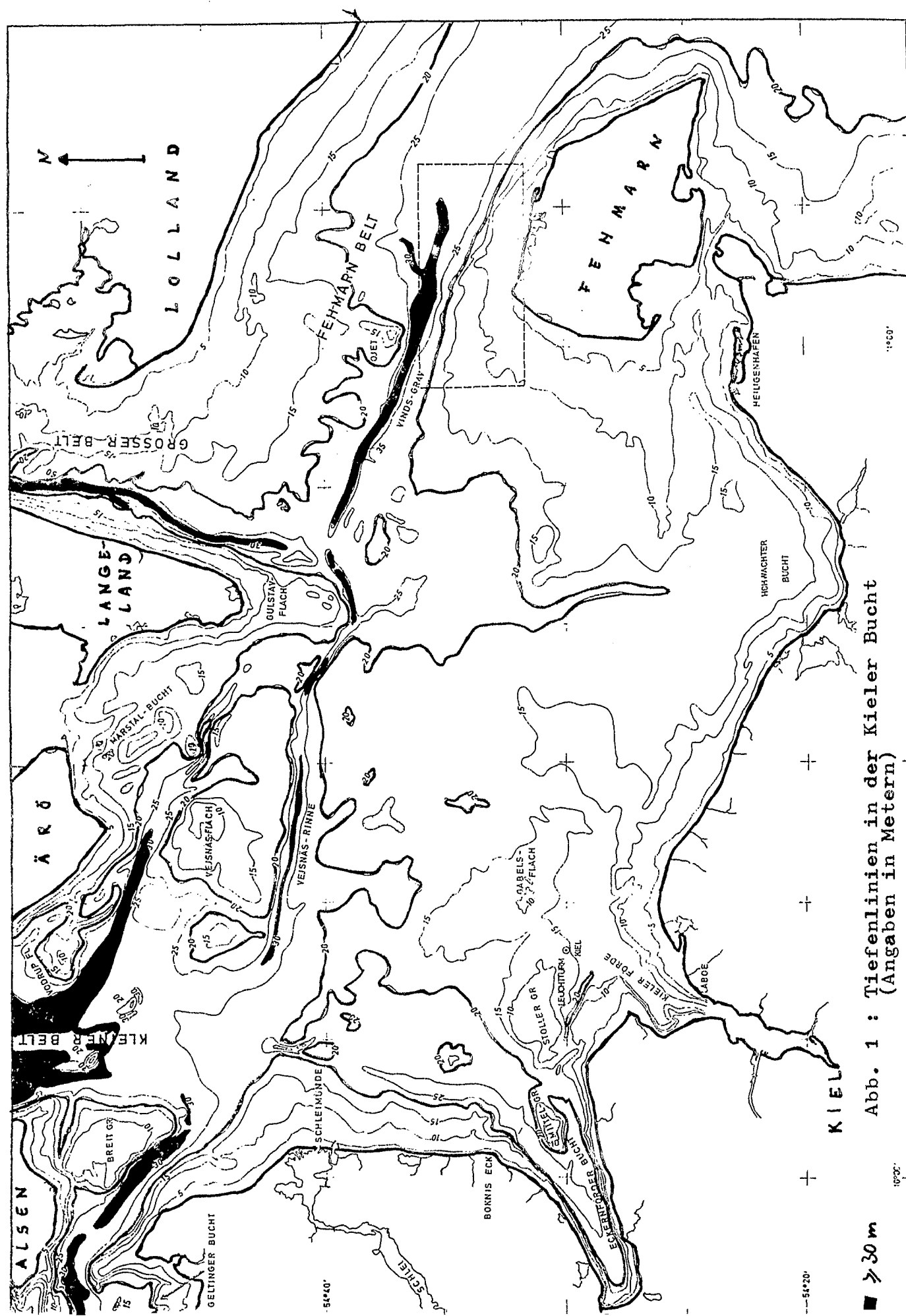
Die westliche Ostsee wird aus den Becken der Kieler, Mecklenburger und Lübecker Bucht, den Förden (Flensburger, Eckernförder und Kieler) und dem Fehmarnbelt gebildet. Sie ist im Norden durch den Großen Belt zwischen Fünen und Seeland und den Kleinen Belt zwischen Alsen und Fünen sowie im Süden durch die Darßer Schwelle begrenzt (DIETRICH, 1951).

Zusammen mit dem Sund und dem Kattegat ist die Beltsee ein ausgesprochenes Flachwassergebiet (im allgemeinen zwischen 10 und 20 m, nur in den Rinnen bis 30 m tief). Von ihrer Gestalt her kann die Beltsee grob als Rechteck mit den Kantenlängen von ca. 35 sm in Ost-Westrichtung und ca. 25 sm in Nord-Südrichtung angesehen werden. Die Lübecker Bucht bildet ein angehängtes Rechteck im Süden (1 sm = 1.852 km).

Die vier Förden an der Südwestseite der Kieler Bucht sind ihrer Entstehung nach festländische Talrinnen, die gegen Ende der Eiszeit vom Schmelzwasser des Eises geformt und anschließend vom Meer ausgefüllt wurden. Der Boden geht allmählich in den der offenen Ostsee über, der aufgrund der relativ kurzen Überflutungszeit noch seinen festländischen Charakter bewahrt hat und ein System von Rinnen und Bänken aufweist (KÄNDLER, 1959)(vgl. Abb. 1).

Eine 25 - 35 m tiefe Rinne führt nördlich von Langeland und Ärö westwärts zu einer breiten Einsenkung zwischen Ärö und Alsen und weiter zur Flensburger Förde. Von hier wendet sich eine Abzweigung südwärts und zieht als sich allmählich verflachende Rinne längs der Küste zur Eckernförder Bucht. In östlicher Richtung durchquert diese Rinne den Fehmarnbelt und vom Großen Belt her stößt eine zweite Rinne nahezu senkrecht auf diese (KÄNDLER, 1959).

Zwei große Flachs unterteilen dieses Rinnensystem : das Vejsnäs Flak im Norden und der Stoller Grund mit dem Gabelsflach im Süden. Der Stoller Grund trennt die bodennahen Schichten des gesamten Südwestens von den tiefen Regionen



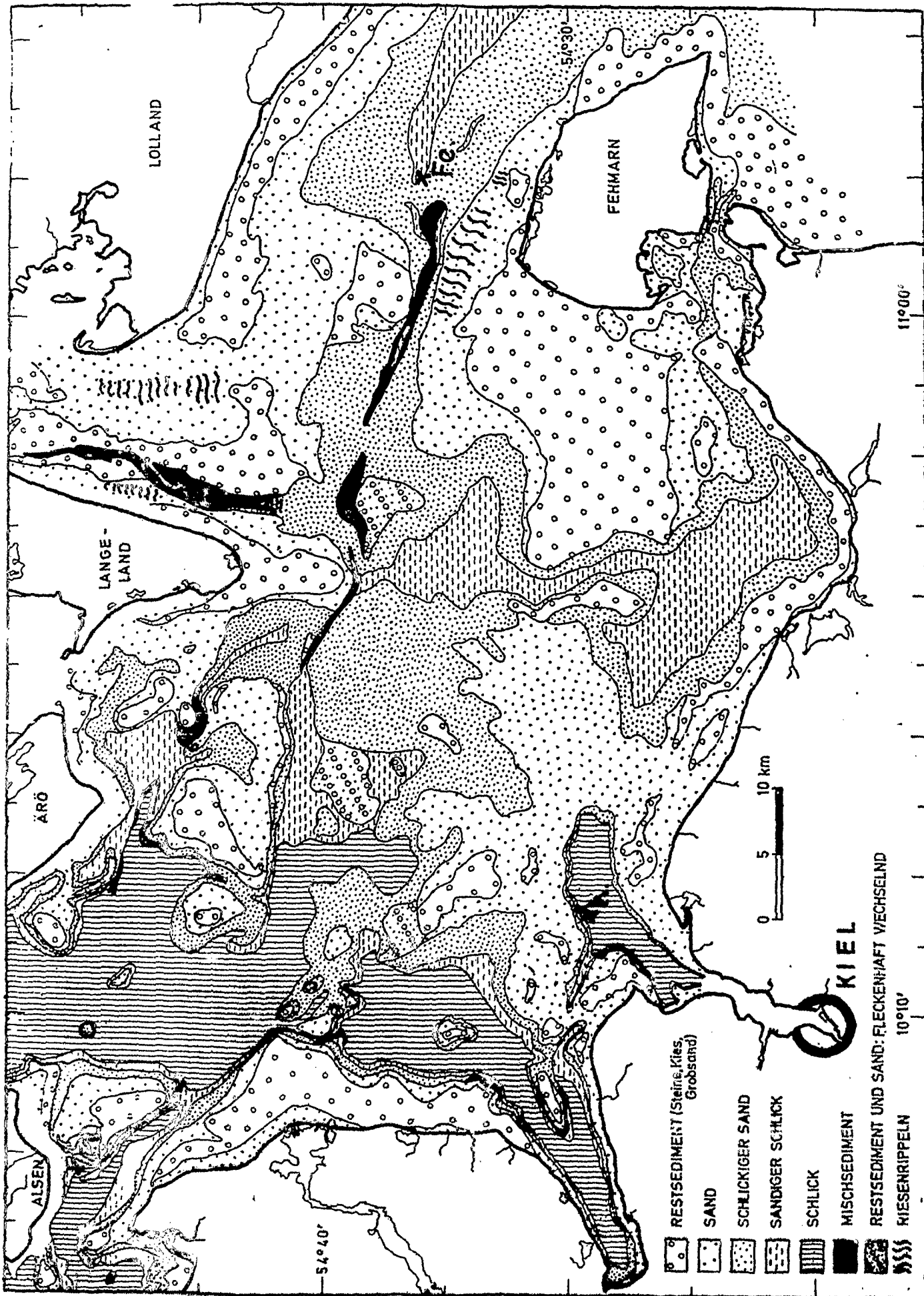


Abb. 2 : Sedimentbedeckung in der Kieler Bucht  
aus: Seibold et al., 1971

der übrigen Kieler Bucht. Lediglich die Eckernförder Bucht hat vor Schleimünde durch eine 35 m tiefe, sehr schmale Rinne Zugang zum Kleinen Belt (KRUG, 1963). Die Kieler Förde hat an das große West-Ost verlaufende Rinnensystem keinen Anschluß, da eine bis auf 12.5 m unter die Oberfläche ansteigende Schwelle die Stollergrund-Rinne westwärts abriegelt. In dem die Kieler Förde abtrennenden Moränenzug (mit Stoller Grund und Gabelsflach) befindet sich nur östlich des Gabelsflachs querab von Stakendorfer Strand ein etwa 15 m tiefer Durchlaß, der den einzigen Zugang zum Ostteil der Kieler Bucht darstellt. Damit ist die Kieler Förde vom Austausch des Bodenwassers abgeschlossen, nur die in 14-15 m Tiefe befindlichen Zwischenwasserschichten können über den Riegel in die Kieler Förde einströmen.

Mit der Eckernförder Bucht besteht eine Verbindung durch die ca. 10 m tiefe Stollergrund-Rinne. Die Eckernförder Bucht besitzt eine ONO-WSW gerichtete Mittelachse, eine mittlere Wassertiefe von 19 m und eine maximale von 29 m. In Mündungsnähe kompliziert eine Bank mit einer geringsten Wassertiefe von 7.3 m, der Mittelgrund, die Verhältnisse, Nördlich des Mittelgrundes verläuft die tiefe Rinne in nordöstliche Richtung, die gleichzeitig die Verbindung mit dem großen Rinnensystem der Kieler Bucht herstellt und den Austausch des Bodenwassers ermöglicht (Abb. 1 ).

Die Flensburger Förde teilt sich in Innen- und Außenförde, die durch eine Schwelle von 12 m Wassertiefe getrennt werden. Seewärts senkt sich die stark verbreiterte Außenförde allmählich auf 30 m ab. Der innere Abschnitt der Flensburger Förde fügt sich in einem scharfen Knick (querab Holnis) südwestlich verlaufend an. Die Enge bei Holnis besitzt nur eine Breite von 1.4 km mit maximal 19 m Wassertiefe. Zwei Schwellen von 12 und 11 m Wassertiefe riegeln die langgestreckte, sich auf 17-19 m vertiefende Mulde in der Innenförde vom Zustrom des Tiefenwassers aus der Außenförde ab (KÄNDLER, 1963).

Die Lübecker Bucht ist eine wenig gegliederte Einsenkung

mit Wassertiefen um 20 m und breiter Verbindung zur Mecklenburger Bucht. Sie zählt zu den am wenigsten untersuchten Gebieten der westlichen Ostsee.

Die Sedimentbedeckung der Kieler Bucht ist aus Abb. 2 ersichtlich. Die typische Korngrößenverteilung in einer Probe würde folgendes Bild ergeben:

1/5  $\leq$  0.002 mm  
1/5 0.002 - 0.02 mm  
1/3 0.02 - 0.2 mm  
1/5 0.2 - 2.0 mm und  
der Rest wesentlich gröber.

Das Sediment zeichnet sich überall durch ein sehr breites Korngrößenspektrum aus (Abb. 3 ).

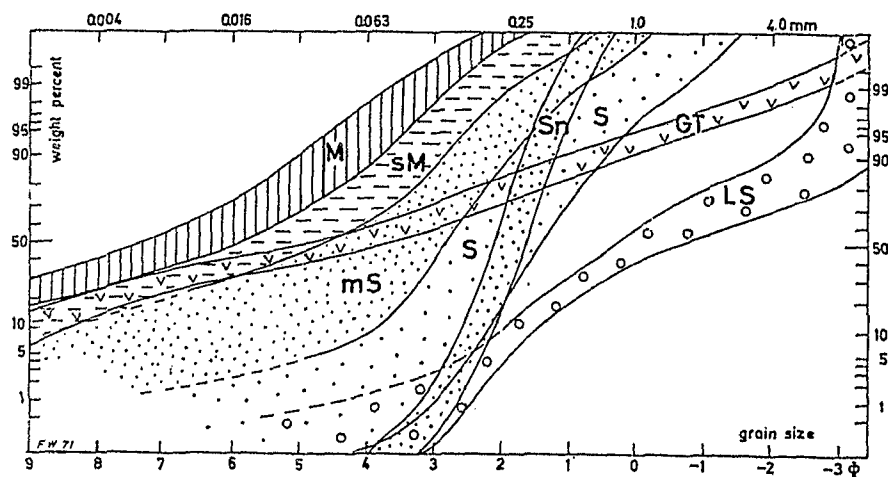


Abb. 3 : Korngrößenverteilungen verschiedener Sedimenttypen auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz. (M = Schlick, sM = sandiger Schlick, mS = schlickiger Sand, S = Sand, LS = "lag sediment).

Die Abbildung zeigt die Sortierung der Sedimenttypen im Verhältnis zur Sedimentquelle (GT = glacial till). Das best-sortierte Sediment stammt von küstennahen Sandbänken (Sn).

aus : Seibold et al., 1971

Besonders muß angemerkt werden, daß die Grenzen zwischen den einzelnen Sedimenttypen nicht so scharf ausgeprägt sind, wie die Abb. 2 vermuten läßt (z.B. zwischen Restsediment und Sand). Auch ist die Zone küstennaher Restsedimente (Grobsand, Kies und Steine auf Geschiebemergel) in Wirklichkeit viel heterogener.

Auch die Abhängigkeit der Sedimentverteilung von der Topographie läßt sich aus Abb. 1 und Abb. 2 entnehmen. Die Einteilung der Sedimente in Abb. 2 erfolgte nicht nach Korngrößenklassen, sondern nach Sedimenttypen :

Gesteinstrümmer (lag sediment)  
Sand (mittel- und feinsortiert)  
schlickiger Sand  
sandiger Schlick  
Schlick  
Mischsediment,

doch kann dieser Klassifizierung eine gewisse Korngrößenverteilung zugeordnet werden :

so sind bei Mittel- und Feinsand mehr als 95 Gew.-% einer Probe  $> 40 \mu$ , bestehend aus Quarz mit bis zu 20 % Feldspat. Bis zu 3 % sind schwere Minerale wie Granat, Hornblende und Ilmenite darin enthalten.

Schlickiger Sand besteht zwischen 50 und 95 Gew.-%, sandiger Schlick zwischen 20 und 50 Gew.-% aus Material  $> 40 \mu$ . Allgemein nimmt mit zunehmender Wassertiefe die Korngröße ab und der Anteil an Siltfraktionen  $< 40 \mu$  zu (vgl. Abb. 4). Gebiete mit Fein- und Mittelsand finden sich in der Kieler Bucht hauptsächlich in der Gegend des Großen Beltes und in Tiefen zwischen 15 und 18 m bei relativ ebenem Boden (z.B. Stoller Grund bis Hohwachter Bucht und auf der Leeseite von einzelnen Flachs). Die Grenze zwischen Sand und Schlick liegt in der Kieler Bucht bei etwa 18 m (ungefähr dort, wo die Rippelbildung aufhört). Lediglich am Eingang des Fehmarnbeltes liegt diese Grenze relativ tief (24 m), steigt dann jedoch auf die übliche Höhe an.

Sedimente mit weniger als 20 Gew.-% Material  $> 40 \mu$  werden als Schlick bezeichnet. Die obere Verteilungsgrenze liegt bei etwa 20-30 m. Zu größeren Wassertiefen hin nimmt der

Sandanteil weiter ab, so daß bei Tiefen über 30 m der Sandgehalt weniger als 10 % beträgt. Im östlichen Teil der Kieler Bucht mit relativ flachen Gebieten sind reine große Schlickflächen deshalb selten zu finden (Abb. 2 ).

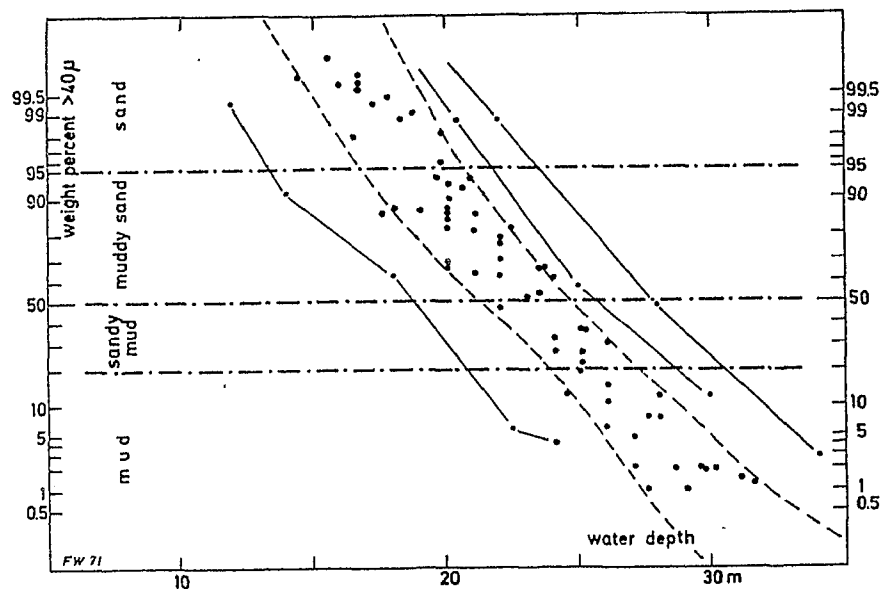


Abb. 4 : Abnahme des Sandanteils ( $>40 \mu$ ) bei zunehmender Wassertiefe. Ausgezogene Linien verbinden die Punkte einzelner Profile. Die linke Kurve stammt aus einem geschützten Gebiet. (WERNER in: SEIBOLD, et al., 1971)

Mischsedimente aus feinkörnigem Material (Schlamm und Ton) zusammen mit größerem Material unterschiedlicher Korngrößen finden sich vorwiegend als dünne Ablagerungen am Rande von Schlickgebieten und leiten über zu sandigen Schlick- oder schlickigen Sandarealen. Auch finden sie sich in den Rinnen und an den Steilhängen der Kieler Bucht, im Großen Belt und an den tiefen Stellen des Fehmarnbeltes. Wegen der kräftigen Strömungen im Rinnensystem kann keine kontinuierliche Schlicksedimentation dort stattfinden, sondern es bildet sich nur eine dünne Decke an Feinmaterial aus, durch Bodenfauna mit dem Grobsediment vermischt (WERNER et al., 1974; SEIBOLD et al., 1971).

## 2.2. \_ \_ Hydrographie \_

Nach DIETRICH (1950) besitzt die Beltsee als hydrographische Region folgende Charakteristika :

Zeitweise oder das ganze Jahr halin geschichtet,  
Deckschicht mit starkem (Jahresschwankung  $> 3^{\circ}/\text{oo}$ ),  
Bodenschicht mit regelmäßigem jährlichen Gang des Salzgehaltes.

Im Sommer herrschen ausgeprägte Schichtungsverhältnisse: eine starke Salzgehaltssprungschicht trennt die salzarme Oberschicht von einer salzreichen, schwach geschichteten Unterschicht mit  $26-32^{\circ}/\text{oo}$ . Wegen der zusätzlich noch in etwa 10 m Tiefe vorhandenen thermischen Sprungschicht ist damit jede Vertikalkonvektion unterbunden. Ein Austausch über die Wassersäule ist deshalb nur im Winter möglich, wenn keine thermische Schichtung hindert und zusätzlich starke Winde die Vermischung fördern.

Die Beltsee nimmt als Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee eine gewisse Sonderstellung ein, denn sie verbindet Wassermassen sehr unterschiedlicher Dichte. Es können Wassermassen von über  $30^{\circ}/\text{oo}$  (reines Nordseewasser), von unter  $10^{\circ}/\text{oo}$  (reines Ostseewasser) und mit Salzgehalten von  $13-16^{\circ}/\text{oo}$  (Misch- oder Zwischenwasser = Oberflächenwasser aus dem Kattegat und den Belten) nebeneinander angetroffen werden. Der Übergang zwischen den Wassermassen verläuft nicht kontinuierlich, sondern sprungartig in Form von Fronten, die sich mit den Strömungen verlagern (NEUMANN, 1940; WEIDEMANN, 1948; KRUG, 1963; MITTELSTAEDT, 1966).

Im Übergangsgebiet lagern die verschiedenen Wasserarten keilförmig übereinander; ihre Grenze ist durch eine Sprungschicht, die sich an der Oberfläche durch einen scharfen horizontalen Gradienten auszeichnet und eine hydrographische "Front" im Defant'schen Sinne (WATTENBERG, 1949) darstellt, gekennzeichnet. In der Beltsee lassen sich zwei derartige Fronten unterscheiden, deren eine im Kattegat, die andere in der Kieler Bucht hin und her wandert. Hier von Bedeutung ist das Verhalten der Front in der Kieler Bucht.



Die salzarme Oberschicht und die salzreiche Unterschicht lassen sich grob mit einem Ausstrom salzarmen Ostseewassers an der Oberfläche und einem Einstrom salzreichen Nordseewassers in der Tiefe identifizieren. Diesen aus dem inneren Kräftefeld resultierenden Gradientenströmen überlagert sich ein äußeres Kräftefeld (Luftdruckschwankungen) und schiebt die hydrographische Front zwischen den Belten hin und her. Damit kann man alle Änderungen im Oberflächen-salzgehalt der westlichen Ostsee auf den Einfluß der Großwetterlagen zurückführen :

1. Zieht ein Tiefdruckgebiet auf einer der normalen Zugstraßen über Nordosteuropa hinweg, mit einem von Süden nach Norden gerichteten Luftdruckgradienten, so entsteht der sogenannte Einstromfall, und die Front wandert in Richtung Ostsee, bei entsprechend langer Einstromdauer bis über die Darßer Schwelle hinaus (WYRTKI, 1953), und die Kieler Bucht füllt sich mit salzreichem Tiefenwasser.
2. Bei einem kräftigen Hoch über Skandinavien entsteht der Ausstromfall : salzarmes Wasser strömt aus der inneren Ostsee ab in die Beltsee und das Kattegat.

Die bei langanhaltenden Ein- oder Ausstromperioden scheinbare Einseitigkeit des Wasseraustausches wird zwangsläufig durch Kompensationsströme ausgeglichen (z.B. WEIDEMANN, 1950), da im langen Ausstromfall dichtes Nordseewasser in der Tiefe in die Kieler Bucht vordringt und umgekehrt.

WATTENBERG. (1949) diskutiert die einzelnen Ein- und Ausstromfälle sehr ausführlich. Um einen Überblick über diesen für die Beltsee so bestimmenden Mechanismus zu geben, seien seine Überlegungen hier kurz dargestellt :

Die Durchlässe für Wassermassen aus der Beltsee in Richtung Nordsee oder Ostsee stellen der Große Belt und der Kleine Belt, deren Querschnitte sich wie 13 : 1 verhalten, sowie der Fehmarnbelt dar. Damit ist für schnell wechselnde Wassermassen nur der Große Belt wirksam ( der Sund ist mit 7 m Schwellentiefe praktisch ohne Bedeutung für den Wasseraustausch). Da der Große Belt und der Fehmarnbelt an der Nordostecke der Kieler Bucht praktisch rechtwinklig aufeinander

derstoßen, erfolgt bei Einstrom durch die Wirksamkeit der Corioliskraft ein Ausbreiten der Wassermassen in der Kieler Bucht, während bei Ausstrom das Wasser direkt durch den Großen Belt abfließen kann, ohne erst die Bucht zu durchqueren.

Ausstromlage : (Abb. 5 )

Hoher Druck über Nordskandinavien und damit östliche Luftströmungen über der Ostsee und dem Skagerak haben zur Folge, daß das Wasser aus dem Skagerak gedrückt wird, im Kattegat der Wasserstand sinkt und ein Anstau von Wassermassen in der SW-Ostsee erfolgt.

- I. 1.Phase: Ostseewasser gelangt durch den Fehmarnbelt in die Kieler Bucht, von dort Abfluß durch den Großen und Kleinen Belt. Da diese recht eng sind, erfolgt der Abfluß nicht so schnell, und das Wasser in der Kieler Bucht steigt, bis ein Gleichgewicht zwischen dem Zustrom durch den Fehmarnbelt und dem Abfluß durch die Belte hergestellt ist. (Während in der 1.Phase die Kieler Bucht sich füllt, gelangt einige Stunden lang salzarmes Wasser hinein.)
- 2.Phase: Wenn das Gleichgewicht erreicht ist, fließt das aus dem Fehmarnbelt kommende Wasser direkt durch den Großen Belt ab und damit an der Kieler Bucht vorbei. Bei kurzen Ausstromperioden wird der Salzgehalt in der Kieler Bucht kaum erniedrigt.

II. Langer Ausstrom:

Jetzt spielt auch der Ausstrom durch den Kleinen Belt eine Rolle, d.h. es dringt im selben Maß salzarmes Wasser in die Kieler Bucht ein, wie salzreicherer durch den Kleinen Belt abfließt (evtl. zugleich östliche Winde, dann unterstützende Driftwirkung). Im Extremfall rückt die Beltseefront bis zum Kleinen Belt vor ( etwa 4-6 Mal pro Jahr, wenn der Ausstrom länger als einen Monat dauert).

III. Vorrücken der Beltseefront:

- a. Die Front läuft zuerst südwestlich in Richtung Kieler Förde bis zum Feuerschiff "Kiel", der nörd-

liche Flügel schwenkt später nach Westen um (häufigerer Fall).

- b. Die Front wandert in Richtung Kleiner Belt, die salzarmen Wassermassen breiten sich im Nordteil der Kieler Bucht aus und erreichen dann erst Feuerschiff "Kiel".

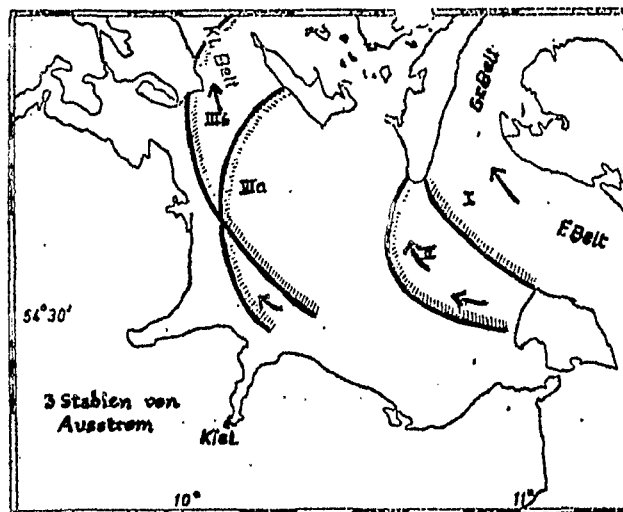


Abb. 5 : Schematische Darstellung des Vorrückens einer Ausstromfront durch die Kieler Bucht  
aus: WATTENBERG (1949)

Einstromlage: (Abb. 6 )

Depressionen, die von Island über die Nord- und Ostsee ziehen (westliche Winde), drücken salzreiches Wasser aus der Nordsee ins Skagerak und Kattegat. Zugleich erfolgt ein Abströmen von Wassermassen aus der südwestlichen in die nördliche Ostsee. Dem Gefälle folgend strömt deshalb durch den Fehmarnbelt solange Wasser aus der Kieler Bucht in die Zentralostsee ab, bis ein Gleichgewicht zwischen den Niveaudifferenzen und den Strömungen hergestellt ist.

- I. Die Hauptmasse des Einstromwassers gelangt durch den Großen Belt in die Kieler Bucht; ein Teil fließt durch den Fehmarnbelt weiter, ein Teil biegt aufgrund der rechtsablenkenden Corioliskraft in die Bucht ein. Einstromfälle von genügend langer Dauer, daß die gesamte

Kieler Bucht gefüllt würde, kommen nicht sehr häufig vor.

## II. und III. Lange Einstromperioden

Auch der Kleine Belt hat jetzt stärkeren Anteil am Einstrom, da bereits im Kattegat salzreiches Wasser im Mündungsbereich des Beltes liegt.

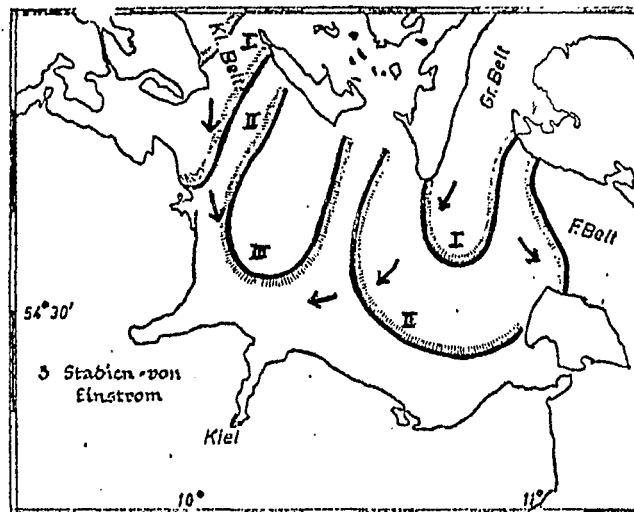


Abb. 6 : Schematische Entwicklung einer Einstromlage in der Kieler Bucht  
aus : WATTENBERG (1949)

Eine Ausstromfront benötigt im Durchschnitt drei Wochen vom Fehmarnbelt bis zum Kleinen Belt. So kann es vorkommen, daß mit dem Wechsel der Wetterlagen eine neue Front auftritt, während die alte sich noch im westlichen Teil der Kieler Bucht befindet und damit eine scheinbar paradoxe Salzgehaltsverteilung entsteht : Abb. 7 zeigt den Salzgehaltsgang bei den Feuerschiffen "Kiel" und "Fehmarnbelt" nach dem Umschlagen des Ausstroms in Einstrom: bei "Kiel" fällt der Salzgehalt, während er bei "Fehmarnbelt", wie zu erwarten, kräftig ansteigt.

Offenbar schiebt das im Kleinen Belt vordringende Kattegatwasser das im Nordteil der Kieler Bucht noch von der vorhergehenden Ausstromlage vorhandene salzarme Wasser vor sich her und drängt es weiter in die Bucht hinein, als

es bei Ausstrom wegen der Corioliskraft eigentlich gelangen konnte (WATTENBERG, 1949).

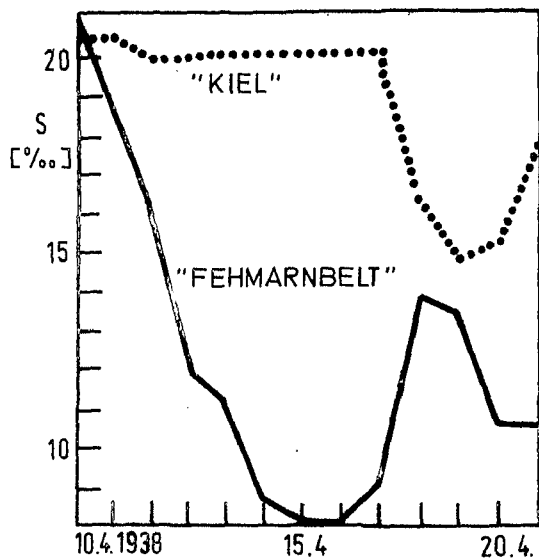


Abb. 7

Salzgehaltsgang vom 9.-21. April 1938 bei den Feuerschiffen "Kiel" und "Fehmarnbelt". Wechsel von Ausstrom in Einstrom.

aus:WATTENBERG (1949)

Über die bei den einzelnen Ein- und Ausstromlagen in der Tiefe auftretenden Verhältnisse gibt die Abb. 8 Aufschluß. Sie zeigt verschiedene Stromlagen in schematischer Darstellung, die aus Beobachtungen beim Feuerschiff "Fehmarnbelt" gewonnen wurde (WYRTKI, 1954).

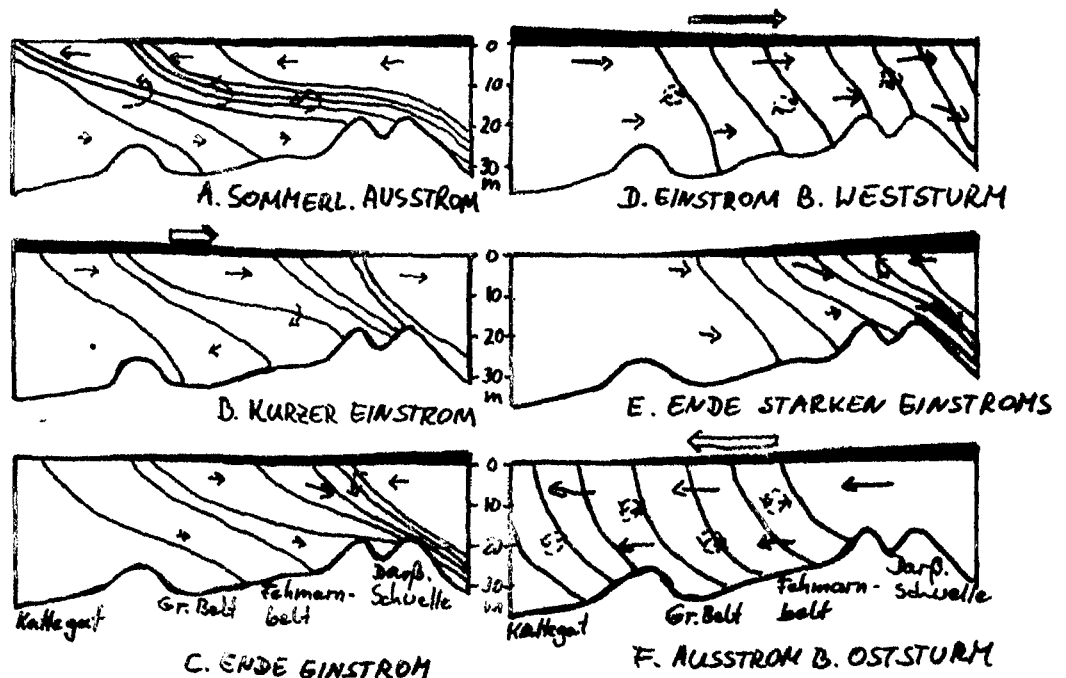


Abb. 8 : Schematische Darstellung der Ein- und Ausstromlagen im Schnitt durch die Kieler Bucht  
aus : WYRTKI (1954)

Ausführliche Diskussionen der verschiedenen hydrographischen Situationen in der Kieler Bucht mit ihrer Abhängigkeit von der Wetterlage finden sich bei FONSELIUS, (1970), KALEIS und YULA (1974), KÄNDLER (1951, 1952, 1959, 1960), KRUG (1963), MACHENS (1949), NEUMANN (1940), VISWANATHAN (1960), WATTENBERG (1940, 1941, 1949), WEIDEMANN (1950), WITTIG (1953), WITTING (1912), WOLF (1961, 1972), WYRTKI (1953, 1954), UNTERSUCHUNGEN FLENSBURGER FÖRDE (1974); Monatskarten des Salzgehaltes wurden von BOCK (1971) vorgelegt.

### Temperatur

Die Temperatur in der westlichen Ostsee zeigt eine einjährige Periode entsprechend der Periodizität der Lufttemperatur, da die Oberflächenerwärmung stark vom Wärmeaustausch über die Meeresoberfläche abhängt (Abb. 9)

Die Temperatur der bodennahen salzreichen Schichten jedoch wird vorwiegend vom Einstrom aus dem Kattegat geprägt. Im Sommer unterbindet eine thermohaline Sprungschicht einen tiefreichenden Temperaturgang. Damit kann die Temperatur der Bodenschichten nur durch advective Vorgänge verändert werden. Im Winter herrscht, begünstigt durch die geringen Wassertiefen der Beltsee, weitgehend Homothermie. Wenn dann Stürme zusätzlich die haline Schichtung auflösen, ist die Voraussetzung für eine tiefgreifende Vertikalkonvektion zur Erneuerung des Bodenwassers in abgeschlossenen Gebieten der Beltsee geschaffen (DIETRICH, 1953; MATTHÄUS, 1973; SIEDLER und HATJE, 1974). Genauere Untersuchungen über den jährlichen und täglichen Gang der Oberflächentemperatur, die Eindringtiefe des täglichen Temperaturganges, langjährige Veränderlichkeiten und andere Charakteristika der Temperatur der westlichen Ostsee finden sich bei DIETRICH (1950, 1953), FRANCKE und HUPFER (1963), KÄNDLER (1959, 1960), KRAUSS (1966), LENZ (1971), MÄE (1928), MÜNZER (1969, 1970), NEHRING und FRANCKE (1971), SOSKIN (1963), VISWANATHAN (1960), WEIDEMANN (1948, 1950).

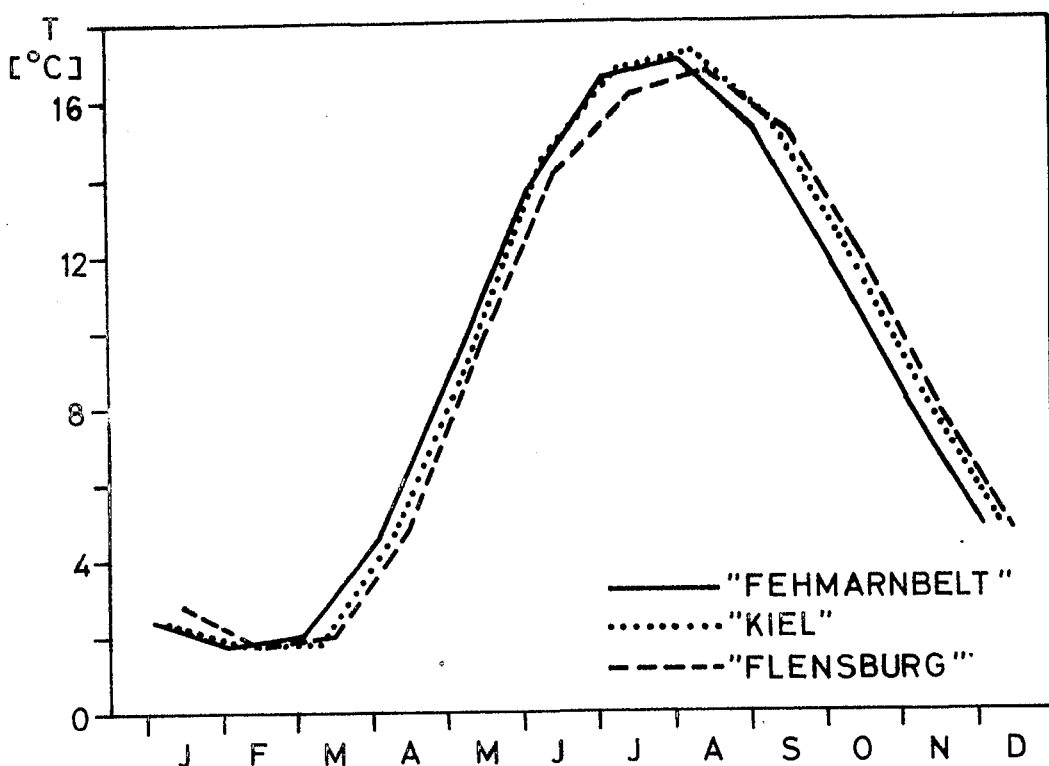


Abb. 9 : Jahresgang der Oberflächentemperaturen bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht aus langjährigen Beobachtungen

### Schichtung

Diese Wechselhaftigkeit der hydrographischen Verhältnisse kommt am besten im Gang der Schichtung während eines Jahres zum Ausdruck.

In der westlichen Ostsee wird die Dichte weitgehend durch die Salzgehalts- und weniger durch die Temperaturverteilung bestimmt (SIEDLER und HATJE, 1974). Die stärkste Schichtung besteht im Sommer (Mai - September), wenn der Oberflächensalzgehalt sein Minimum, der Bodensalzgehalt sein Maximum erreicht. Bei Gedser Rev beträgt dann der mittlere Salzgehaltsunterschied zwischen Oberfläche und Boden (18 m) 5<sup>0</sup>/oo, im Fehmarnbelt (28 m Tiefe) 10<sup>0</sup>/oo. Diese ausgeprägte Schichtung im Sommer wird angeregt durch die im April-Juli maximale, durch Schmelzwasser verstärkte Süßwasserzufuhr aus der inneren Ostsee. Im Frühjahr vorherrschende Ostwinde schieben die salzarmen Wassermassen an der Oberfläche durch die Belte und den Sund bis in das Kattegat vor (WYRTKI, 1954), in Bodennähe erfolgt als Kompensationsstrom (KÄNDLER, 1951) ein Einstrom salzreichen Wassers (in dieser Jahreszeit meist reines Nordseewasser (WATTENBERG, 1941)).

In der Beltsee lagert dann über der Tiefenschicht mit einem Salzgehalt von 20-25<sup>0</sup>/oo die Deckschicht mit 10-14<sup>0</sup>/oo, getrennt durch eine scharfe Sprungschicht. Eine im Sommer nur schwache atmosphärische Zirkulation trägt nicht dazu bei, die sich verstärkende Schichtung aufzulösen. Selbst wechselnde Ein- und Ausstromlagen können sie nicht beseitigen, So wird das Mischwasser des Kattegats durch die ständige Zufuhr salzarmen Wassers in seinem Salzgehalt langsam herabgesetzt und hat gegen Ende des Sommers einen Salzgehalt von 18-22<sup>0</sup>/oo. Das Nachlassen der Süßwasserzufuhr im Laufe des Sommers und die während des Winters verstärkte atmosphärische Zirkulation, beginnend mit den Herbststürmen, fördern wieder stärkere Vermischung (WYRTKI, 1954). Durch die Herbststürme aus westlichen Richtungen wird ein kräftiger windbedingter Gefällstrom aus dem Kattegat in die Beltsee in Gang gesetzt, der das bisherige Beltseewasser in die Ostsee treibt und die Beltsee mit Mischwasser aus dem Kattegat füllt (vgl. Abb. 16). Damit wird der Oberflächensalzgehalt erhöht und der Bodensalzgehalt erniedrigt. Das Zurückdrängen der salzarmen Deckschicht in Richtung Ostsee und die Abnahme der Oberflächentemperaturen bewirken eine Schwächung der Dichteschichtung in der Beltsee (KÄNDLER, 1951). Da auch im Kattegat in größerer Menge Mischwasser gebildet wird, ist ein Einstrom stark salzreichen Wassers in der Tiefe nicht mehr möglich. Die kräftigen Oberflächenströmungen können auch tiefere Wassermassen erfassen, so daß in der Beltsee das Tiefenwasser allmählich abgebaut, die Schichtung im Extremfall völlig aufgelöst und damit die Wassermassen in der Vertikalen homogen durchmischt werden. So kann dann eine Vertikalbewegung in Gang gesetzt werden, und der Weg für die Erneuerung des Tiefenwassers ist freigegeben. Die einzelnen Wasserarten lagern nun nicht mehr wie im Sommer übereinander, sondern man findet als Merkmale der hydrographischen Situation der Beltsee im Winter Ostseewasser, Beltseemisch-, Kattegatmisch- und Nordseewasser nebeneinander, während die Wasserkörper in der Vertikalen homo-



gen sind.

Auch während des Winters kann es bei anhaltendem Ostwind zu beträchtlichem Ausstrom kommen, wobei eine Schichtung aufgebaut wird, die jedoch nicht von Dauer und Stärke der sommerlichen Verhältnisse ist, da das salzreiche Tiefenwasser fehlt. Auch verhindert die raschere Aufeinanderfolge der Ein- und Ausstromlagen den Aufbau jeder dauernden Schichtung.

#### Strömungen und Wasserstandsänderungen

Nach MÜNZER (1969) sind an der Zirkulation folgende Komponenten beteiligt :

1. durch ein von der Atmosphäre aufgeprägtes äußeres Druckfeld hervorgerufene und
2. durch Gezeitenwellen und Seiches verursachte Strömungen,
3. Dichteausgleichsströmungen des Systems Nordsee-Ostsee,
4. durch Windschub an der Oberfläche erzeugte Triftströmungen.

GEYER (1965) hält die Anteile 1. und 2. für zu gering, um nennenswerte Strömungen zu erzeugen. Selbst bei Wasserstandsänderungen bis 1.5 m bleiben die entstehenden Geschwindigkeiten im cm/sec-Bereich (z.B. in der Eckernförder Bucht). Die mit nur geringer Amplitude in der westlichen Ostsee auftretenden Gezeiten (minimale Mitschwingungsgezeiten, eigenständige Gezeiten mit Amplituden bis 20 cm) haben bei maximalen Steiggeschwindigkeiten von 5 cm/h ebenfalls vernachlässigbare Strömungen von etwa 1 cm/sec zur Folge. Im Fehmarnbelt liegt der Gezeitenstrom bei etwa 4-6 cm/sec mit Spitzen von 10 cm/sec (THIEL, 1943; THORADE, 1943).

Entscheidend für Advektion und Vermischung in der westlichen Ostsee bleiben damit die um eine 10er-Potenz höheren Geschwindigkeiten der Dichteausgleichs- und windgetriebenen Strömungen. Das bedeutet, daß zur Untersuchung der Oberflächenströmungen die Kenntnis der Windverhältnisse und Großwetterlagen (Ein/Ausstromverhältnisse) voraus-

gesetzt werden muß. DIETRICH (1951) erstellte Karten der Oberflächenströmungen für das Skagerak, Kattegat und die Beltsee in Abhängigkeit von Windstärke und -richtung (vgl. Abb. 10a,b), die auf dem barischen Gradienten und langjährigen Feuerschiffsbeobachtungen basieren. Auch MACHENS (1949) leitet aus Strombeobachtungen der Dt. Seewarte und der deutschen Feuerschiffe aus den Jahren 1936/37 eine schematische Karte der Oberflächen- und Bodenstromverteilung in der Beltsee ab (Abb. 11). WATTENBERG (1941, 1949) stellte Untersuchungen über die Dauer der einzelnen Ein- und Ausstromperioden an, KRUG (1963) und MANEGOLD (1936) versuchen ihre Abhängigkeit von der Wetterlage zu erfassen.

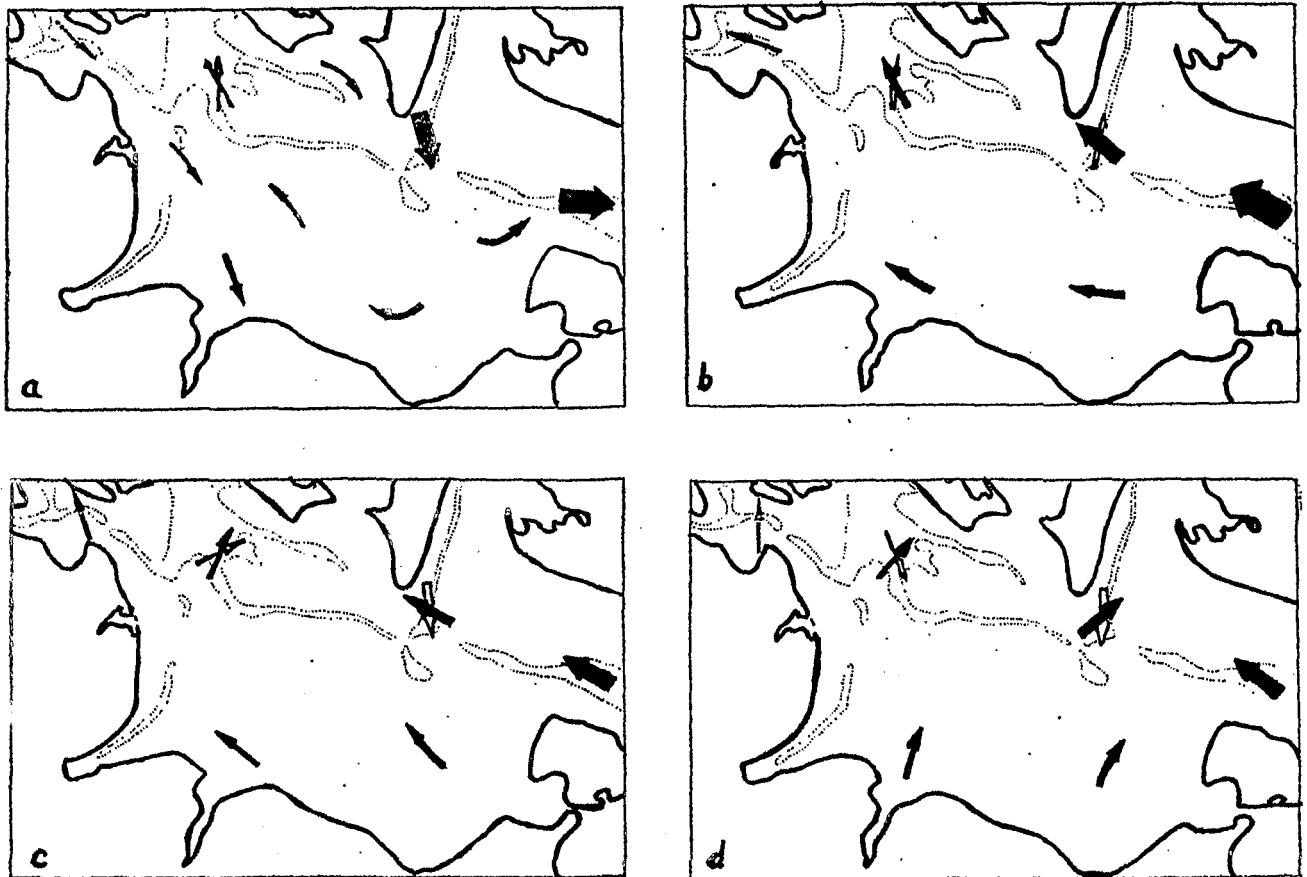


Abb. 11 : Zirkulation in der Kieler Bucht (aus: Machens, 1949)  
a) Einstrom in allen Tiefen südlich d. Großen Belt  
b) Ausstrom " " " " " "  
c) Ausstrom n. NW an der Oberfläche und Einstrom i. d. Tiefe südlich d. Großen Belt  
d) Ausstrom nach NE an d. Oberfl. südlich d. Großen Belt  
Mitte d. Strompfeile-Beobachtungsort  
Breite " -mittl. Geschw., 1 mm  $\approx$  20 cm/sec  
Schwarze Pfeile-Oberflächen-, offene Pfeile-Bodenströmung (25m)  
gebogene Pfeile-interpoliert

Abb. 10 : Oberflächenströmungen in der Beltsee und im Kattegat in Abhängigkeit von der Windstärke

aus : Dietrich, 1951

a) bei Windstärke 3

b) bei Windstärke 6

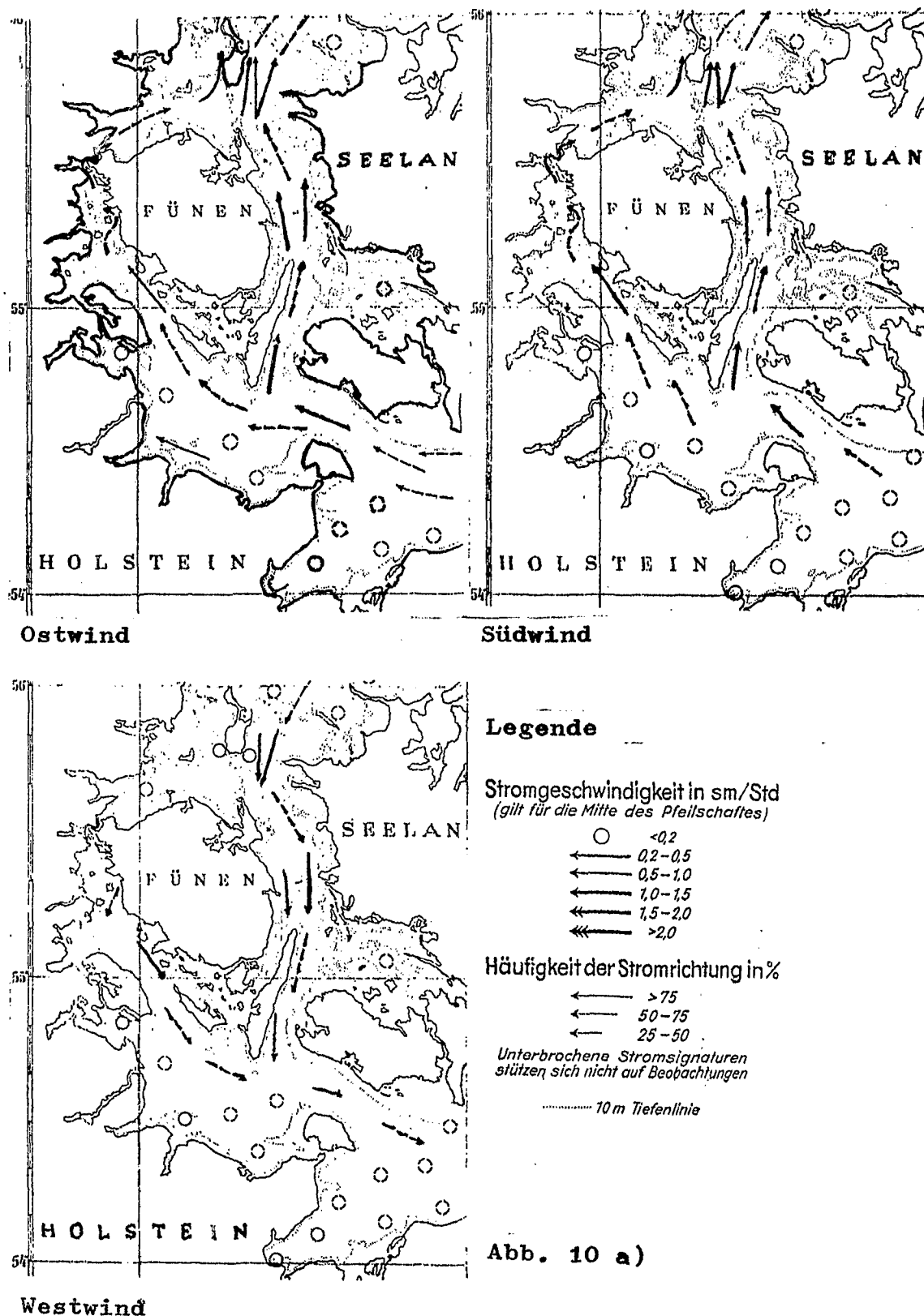
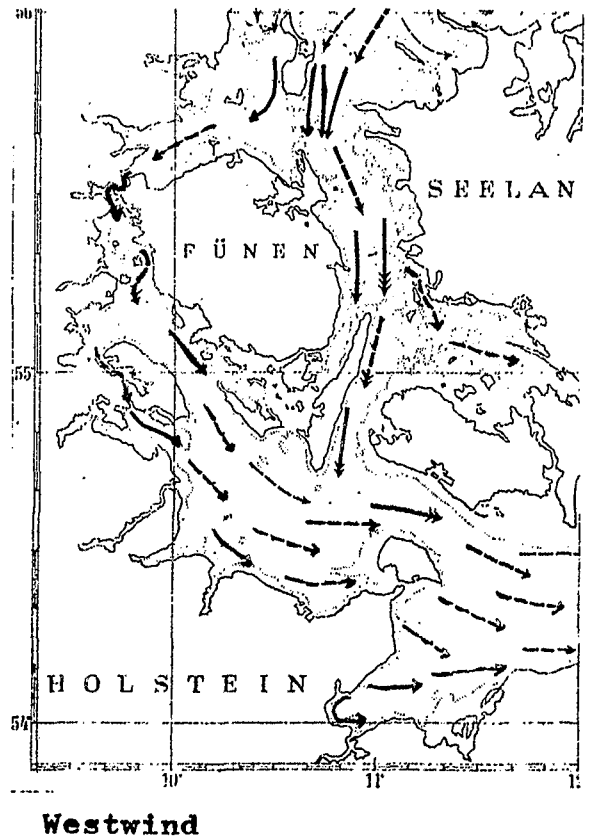
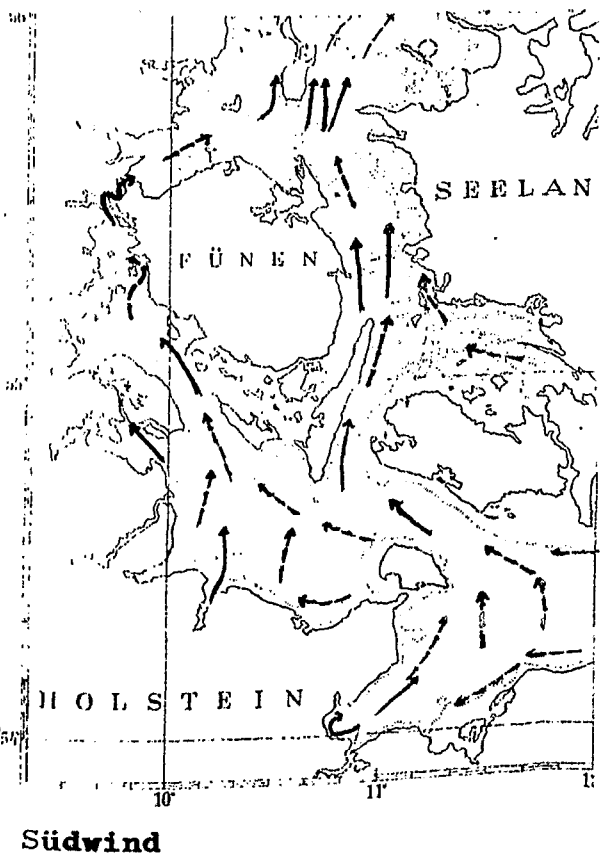
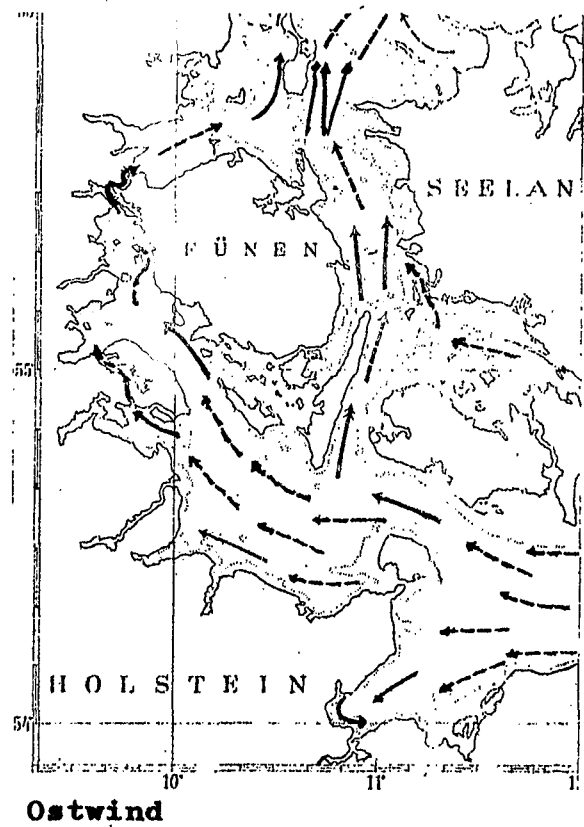
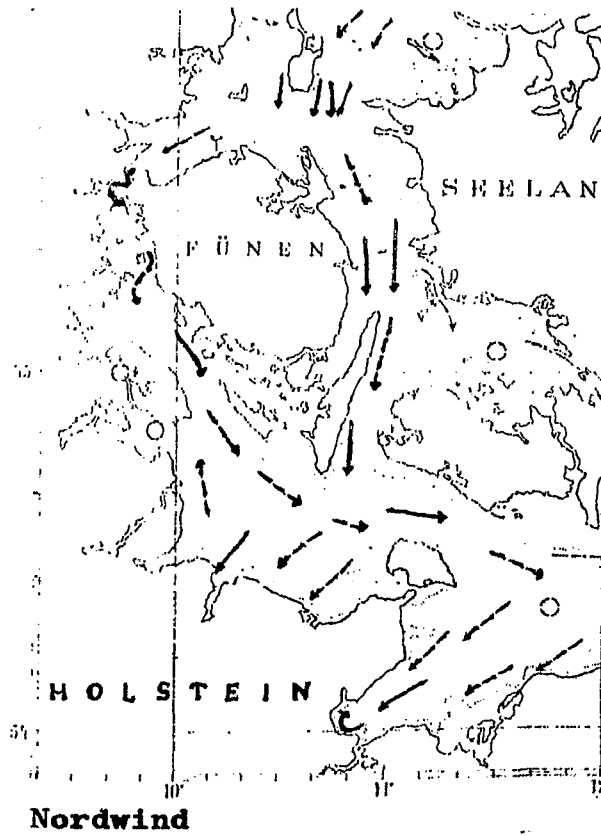


Abb. 10 a)

Abb. 10 b) : Legende wie 10 a)



Zahlreiche Arbeiten befassen sich mit den Zirkulationsverhältnissen in den Förden und Buchten:

HELM (1968, 1972) und LANGE (1974): Fehmarnbelt; WEIDEMANN (1955): Fehmarnsund; DIETRICH und WEIDEMANN (1952): Lübecker Bucht; UNTERSUCHUNGEN FLENSBURGER FÖRDE (1974).

Vertikalbewegungen in der westlichen Ostsee werden als Auftriebsbewegungen in den Buchtenden von Eckernförde, Kiel und Flensburg erwähnt (GEYER, 1965; KÄNDLER, 1959, 1963; MÜNZER, 1969), ferner liegen Arbeiten aus der südlichen Ostsee (HUPFER, 1974 b) und der offenen Ostsee (GLOWINSKA, 1954) vor.

Zu den charakteristischen Erscheinungen der Ostsee gehören die Eigenschwingungen dieses abgeschlossenen Systems, die Seiches. Plötzliche Schwankungen des Windes oder schnelle Luftdruckänderungen geben den Anstoß für Schwingungen der Wassermassen, deren Periode durch die Gestalt des Beckens bestimmt ist und deren Amplitude entsprechend der Reibung abklingt. Bei mehrmaligem Anstoß erfolgen erzwungene Schwingungen mit der Periode der erregenden Kraft. Bei nachlassender Einwirkung klingen sie mit der Eigenperiode der Ostsee ab (WYRTKI, 1954). Die Perioden und Knotenlinien der Eigenschwingungen sind für das System der inneren Ostsee recht gut untersucht (NEUMANN, 1941; KRAUSS und MAGAARD, 1962), indes ist noch wenig die Beteiligung der Beltsee und ihrer Förden und Buchten untersucht. GEYER (1965) analysiert Eigenschwingungen der Eckernförder Bucht, KRÜMMEL (1911) gibt eine Periode der Eigenschwingung der Kieler Förde an.

Unter den Erscheinungen der Meeresoberfläche, die Wasserstandsänderungen hervorrufen, verdient noch der Seegang Erwähnung. Die Ostsee als abgeschlossenes Meeresgebiet bietet dem Wind nur eine bestimmte Wirklänge, innerhalb

der er einen voll ausgereiften Seegang erzeugen kann.

"Die Eigenschaften des Seegangs hängen nicht nur von der Windgeschwindigkeit  $W$ , sondern auch von der Windwirklänge (fetch)  $F$  und der Wirkdauer  $t$  ab. Man kann für jede Windgeschwindigkeit einen minimalen fetch  $F_u$  und eine minimale Wirkdauer  $t_u$  angeben, derart, daß sich der Seegang bei derselben Windgeschwindigkeit für  $F > F_u$  und  $t > t_u$  nicht mehr ändert. Diesen Seegang, der sich also bei der Windgeschwindigkeit  $W$  für  $F \geq F_u$  und  $t \geq t_u$  einstellt, bezeichnet man als voll ausgereiften Seegang bei der Windgeschwindigkeit  $W$ " (MAGAARD, 1974). Für die westliche Ostsee ist dieser minimale "fetch"  $F_u$  durch die Entfernung Ålandsee - Pommersche Küste von 300 sm angegeben. Innerhalb dieser Strecke kann Seegang bis maximal 7 Bft (11-16 kn) voll ausreifen und bei einer Mindestwirkdauer von 24 h Wellen von 8.8 m Höhe und 8.7 sec Periode erzeugen (mittlere Wellenhöhe: 4.5 m, mittlere Wellenlänge: 80 m). Derart hohe Wellen dürften jedoch zu den Ausnahmen gehören; weitaus interessanter ist eine Aussage über die Beschaffenheit des mittleren Seegangs in Abhängigkeit von verschiedenen Windstärken und -richtungen. WALDEN (1960) liefert eine Analyse der Seegangsbeobachtungen bei den drei Feuerschiffen der westlichen Ostsee "Kiel", "Fehmarnbelt" und "Flensburg" für die Jahre 1949-54. Die Ergebnisse können allerdings nicht auf die gesamte Kieler Bucht bezogen werden, da die Feuerschiffe zu weit unter Land liegen und der Verlauf der Küstenlinie die Aussagekraft der Windrichtungsabhängigkeit einschränkt. Die Ergebnisse gelten daher nur für den näheren Umkreis der Feuerschiffe. WALDEN findet eine für alle Feuerschiffe der Kieler Bucht gültige häufigste Wellenhöhe von 0.25-0.75 m, ohne dabei die Anlaufrichtung der Wellen zu berücksichtigen. Im Fehmarnbelt ist der Anteil der weniger als 0.25 m hohen Wellen geringer, der Anteil der mehr als 1 m hohen Wellen dagegen größer, die Perioden von 4 sec und 5 sec treten häufiger auf, die von 1 sec entsprechend weniger auf als bei den anderen beiden Feuerschiffen "Kiel" und "Flensburg". Dies ist aus der wesentlich freieren Lage des

Feuerschiffs "Fehmarnbelt" erklärlich, und die für die E- und SE-Richtungen freie Windwirklänge zeigt sich in großen Wellenhöhen besonders bei Windstärken von 6 und 8 Bft. Bei Feuerschiff "Flensburg" haben nur Wellen aus E- und SE-Richtungen freie Anlaufwege, während im N und NE das Feuerschiff dicht unter Land liegt: die Mittelwerte der charakteristischen und höchsten Wellen spiegeln diese Verhältnisse wider. Für das Feuerschiff "Kiel" gilt Ähnliches, denn hier sind nur die nördlichen und östlichen Sektoren offen gegen die freie See.

Nach MAGAARD (1974) tritt in der Kieler Bucht eine höchste kennzeichnende Wellenhöhe von 3.5-4.0 m und Perioden von 6 sec auf, im Jahresmittel liegt sie bei 0.5 m Wellenhöhe; im Fehmarnbelt liegt die höchste kennzeichnende Wellenhöhe im Jahresmittel bei 0.65 m.

Die häufigste (42%) kennzeichnende Periode im Fehmarnbelt beträgt  $T = 3$  sec, der entsprechende Wert für die Kieler Bucht lautet  $T = 2$  sec (35% Häufigkeit).

In der Kieler Bucht besitzt der Seegang wegen der Abgeschlossenheit dieses Meeresgebietes mit seinen verhältnismäßig geringen Windwirklängen nicht die Höhe und Stärke z.B. des Nordseeseeganges, dessen Anteil an Dünung ebenfalls größer ist.

### 2.3. Klima und Wetter

Nach DEFANT (1972) gehört das Gebiet der westlichen Ostsee zum "C<sub>f</sub>-Klima" mit folgenden allgemeinen Charakteristiken:

1. Regen zu allen Jahreszeiten, Maximum im Aug./Sept., Minimum im Feb./März
2. warm gemäßigte Temperaturen (kältester Monat zwischen -3°C und 18°C, wärmster über 10°C, aber < 22°C )
3. kühler Sommer (Mitteltemperaturen des Juli zwischen 10°C und 22°C )
4. Übergang vom reinen See- auf ein reines Landklima
5. die tägliche Temperaturschwankung nimmt vom Meer auf das Festland zu
6. jährliche Temperaturschwankung etwa 8-15°C mit Maximum im August, Minimum im Jan.-März
7. die Bewölkung weist nur geringe Jahresschwankungen auf, in allen Monaten zwischen 6/10 und 8/10 Bedeckung; C<sub>f</sub> ist also ein stark bewölktetes Klimagebiet
8. die Luftfeuchte ist im Winter groß, im Mai am kleinsten
9. die Winde zeigen eine starke Bevorzugung der NW-SW-lichen Richtungen, am schwächsten sind die Richtungen N-E vertreten.

Im folgenden sollen die Eigenheiten der einzelnen Klimaelemente für die westliche Ostsee kurz beleuchtet werden:

#### Luftdruck

Aus in Pentadenkarten (LINKE-BAUR , 1962) dargestellten 60jährigen Mittelwerten des Luftdrucks erhält man für den Jahresverlauf charakteristische Abfolgen:

In den Wintermonaten November bis Februar herrscht zwischen dem Islandtief und höherem Druck über den Alpen ein starkes Luftdruckgefälle. Die mittleren Isobaren verlaufen von SW her über die Ostsee hinweg nach Norden. Von Pentade zu Pentade sind dabei starke Schwankungen zu verzeichnen. Im März lassen die Luftdruckgegensätze nach (Druckerniedrigung im Süden), im April herrscht eine Phase geringster Gegensätze, im Norden aber stetig ansteigenden Luftdrucks, der



im Mai kulminiert und Mitte bis Ende Juni abschließt. Bis Ende August folgt eine Periode niedrigeren Luftdrucks und schwacher Nord-Süd-Gegensätze, während der die nördliche Ostsee im Bereich eines über Skandinavien lagernden sommerlichen Wärmetiefs steht. Die südliche Ostsee liegt im Einflußbereich stärkerer Luftdruckgegensätze mit häufig lebhafteren Westwetterlagen im Juli und August.

Im September verstärkt sich das meridionale Luftdruckgefälle wieder (durch Druckanstieg im Süden) und leitet Ende Oktober in die unruhige Winterphase über.

Eine gewisse Regelmäßigkeit im Jahresgang ist danach wohl auch der atmosphärischen Zirkulation zuzugestehen. Dies ist von besonderer Bedeutung deshalb, weil die hydrographische Situation der Beltsee mit den Großwetterlagen, und damit den Luftdruckverhältnissen gekoppelt ist (vgl. 2.2. ).

#### Windverhältnisse

Im engen Zusammenhang mit den Luftdruckverhältnissen stehen die mittleren Bodenwindverhältnisse. In der westlichen Ostsee (Kieler und Mecklenburger Bucht) sind die westlichen und südwestlichen Richtungen bevorzugt vertreten, sowie relativ häufig östliche Winde (DEFANT, 1972)(Tab. 1). Dies läßt sich auch aus der Analyse nur eines Jahres schon entnehmen, wie Abb. 12 (für das Jahr 1966, 4 Stationen in der Kieler Bucht und bei drei Beobachtungen am Tag) verdeutlicht. Eine bei der gleichen Analyse durchgeführte Untersuchung über die Koppelung von bestimmten Windrichtungen mit den Jahreszeiten scheint keine eindeutigen Ergebnisse zu liefern (vgl. 3.4.).

Aussagen über Monatsmittel der Windrichtungen dürfen jedoch erst nach der Analyse möglichst vieler und langzeitiger Meßwerte aus der Kieler Bucht gemacht werden. Hierzu könnten z.B. die Feuerschiffsbeobachtungen verwendet werden.

Die Windstärke besitzt nach DEFANT (1972) einen Jahresgang mit kräftigen Winden von November bis März (das Maximum mit

einer skalaren Geschwindigkeit von 7-9 m/sec liegt etwa im Dezember) und mit schwächeren Winden im Sommer : Mai - Juli (minimale Geschwindigkeiten von 4-5 cm/sec (Abb. 13) im Mai/Juni zu erwarten). Tab. 2 zeigt die Verteilung der mittleren Windstärken auf die einzelnen Richtungen aus Beobachtungen auf Handelsschiffen im Zeitraum 1904-38 im Gebiet der Beltsee. Der oben erwähnte Jahresgang wird auch hier deutlich, wenn berücksichtigt wird, daß nach Ta 3 einer Beaufortstärke 4-5 die Windgeschwindigkeit 7 - 9 m/sec entspricht.

Weiter findet man bei DEFANT (1972) eine Aufgliederung der Windstärke in verschiedene Gruppen. So sind in der Kieler Bucht die Winde mit

0-3 Bft mit 50% im Jahresmittel vertreten,  
 4-5 Bft " 31% " " " ,  
 6-7 Bft " 14% " " " ,  
 ≥ 8 Bft " 5% " " " .

Die Häufigkeiten betragen im

	Dezember	Mai-Juli
0-3 Bft	36%	67%
4-5 Bft	34%	25%
6-7 Bft	22%	6%
≥ 8 Bft	10%	2%.

Tab. 1 : Häufigkeit der Windrichtungen 1904-38 in Kieler und Mecklenburger Bucht (in %)  
 aus: Beiträge zur Klimatologie der Ostsee, 1940

	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
N	3.5	7.6	4.9	7.8	5.8	6.5	7.4	7.8	6.9	6.3	6.5	4.2
NE	4.9	7.8	6.4	9.5	11.7	8.8	7.3	4.9	8.4	4.9	5.6	4.2
E	8.8	9.9	18.0	17.8	21.4	16.3	12.1	6.6	15.0	9.4	7.7	5.5
SE	18.2	11.6	13.4	9.4	8.2	7.2	7.4	6.6	10.1	16.0	13.9	14.0
S	11.1	12.7	12.4	7.8	5.6	4.7	5.5	7.2	8.1	15.6	15.8	16.6
SW	19.1	16.4	14.0	10.6	7.8	12.1	12.1	15.3	14.9	20.3	22.9	23.6
W	24.3	19.6	18.7	18.5	17.4	21.9	22.8	26.7	16.0	14.6	16.8	22.4
NW	8.8	10.8	9.0	12.9	13.8	16.4	19.5	20.3	15.5	9.9	9.4	8.9
Stille	1.4	3.6	3.2	6.8	8.3	5.9	5.9	4.6	5.1	2.8	1.4	1.6
Anzahl Beob.	2160	2386	2906	2606	2739	2643	2714	2807	2854	2939	2939	2590

Abb. 12 : Häufigkeit der Windrichtungen (in %) bei 3 Beobachtungen pro Tag im Jahre 1966 an den Stationen  
Kiel-Holtenau-Schleuse (KH)  
Feuerschiff "Kiel" (FSK)  
Feuerschiff "Fehmarnbelt" (FSF)  
Westermarkelsdorf/Fehmarn (WMD)

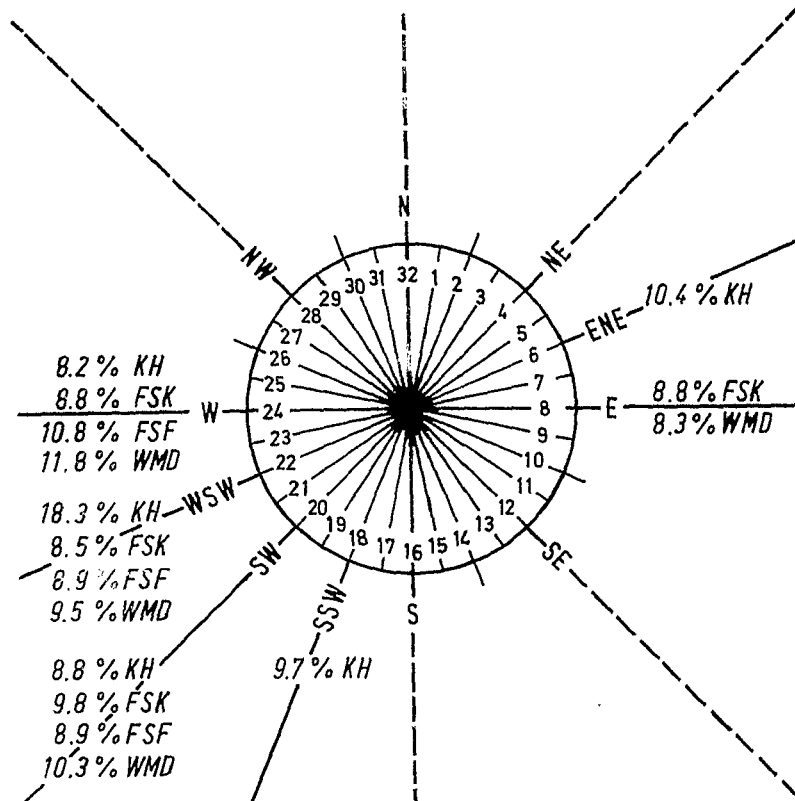
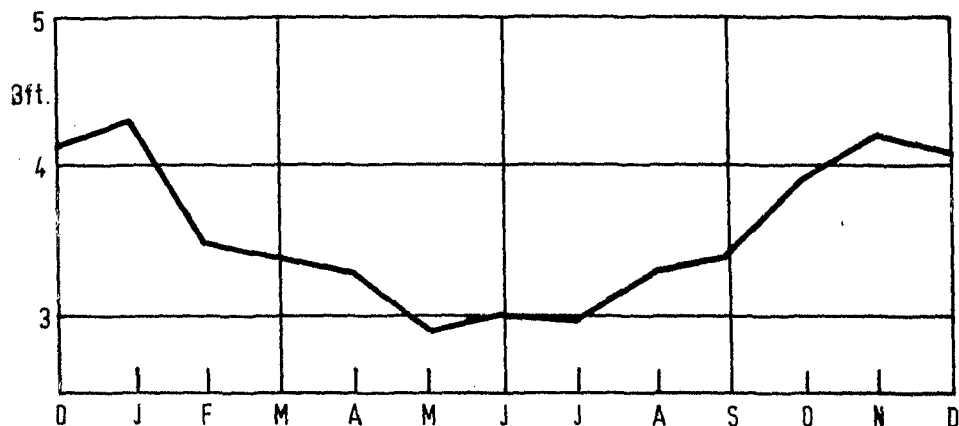


Abb. 13 : Jährlicher Gang der Windstärke in der Kieler und Mecklenburger Bucht  
aus : Beiträge zur Klimatologie der Ostsee, 1940



Tab. 2 : Mittlere Windstärke der einzelnen Windrichtungen  
1904-38 in Kieler und Mecklenburger Bucht (in Bft)

	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
N	3.7	3.4	3.4	3.6	2.7	2.8	2.7	3.0	3.2	3.7	3.7	3.5
NE	4.2	3.2	3.6	3.4	<u>3.3</u>	2.8	2.6	2.5	3.3	4.2	4.0	4.2
E	<u>4.8</u>	3.7	3.8	3.6	<u>3.3</u>	3.0	2.7	3.0	3.3	4.0	4.3	4.2
SE	<u>4.7</u>	3.7	3.4	2.9	<u>2.6</u>	2.7	2.4	2.7	3.1	3.8	4.2	4.2
S	<u>3.5</u>	3.0	3.0	2.7	2.3	2.4	2.4	2.8	3.2	3.3	3.8	3.8
SW	4.4	3.7	3.5	3.3	3.0	3.2	3.2	3.4	3.8	3.9	4.5	4.2
W	4.3	<u>4.1</u>	<u>3.9</u>	3.8	<u>3.3</u>	<u>3.7</u>	<u>3.7</u>	3.8	<u>4.1</u>	4.2	<u>4.7</u>	<u>4.6</u>
NW	4.2	<u>4.0</u>	<u>3.7</u>	<u>4.1</u>	<u>3.3</u>	<u>3.6</u>	<u>3.6</u>	<u>3.9</u>	<u>4.1</u>	<u>4.4</u>	<u>4.5</u>	<u>4.2</u>

Tab. 3 : Beaufortäquivalente nach verschiedenen Quellen und Kriterien

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	[Bft]
Dt.Seewarte 1898	0.0	1.7	3.1	4.8	6.7	8.8	10.7	12.9	15.4	18.0	21.0			
Met.Office	0.0	0.8	2.4	4.3	6.7	9.4	12.3	15.5	18.9	22.6	26.4			
Int.Skala 1926	0.2	1.1	2.5	4.3	6.3	8.6	11.1	13.8	16.7	19.9	23.3	27.1		
Seeskala (Seilkopf)		2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0	25.0	27.0		
Int.Skala 1946		0.8	2.4	4.3	6.7	9.4	12.3	15.5	18.9	22.6	26.4	30.5	32.6	
Verploegh, CMM-II		1.5	3.4	5.6	7.8	10.2	12.6	15.1	17.7	20.4	23.3	26.5		
Lumb													30.7	
Roll (0.5 m)		1.3	2.6	4.0	5.2	6.6	7.9	9.2						
" (stab.Schichtg. 19.3m)		1.0	2.6	4.4	6.7	8.2	10.3	12.3	14.9					
" (instab.Sch. 19.3m)		0.0	1.5	3.1	4.9	6.7	8.7	11.3	14.4	18.5				
CMM-IV		2.0	3.6	5.6	7.9	10.2	12.6	15.1	17.8	20.8	24.2	28.0		

[m/sec]

### Lufttemperatur

Wie die Wassertemperatur zeigt auch die Lufttemperatur in Seegebiet der westlichen Ostsee einen ausgesprochenen Jahresgang. Von Ende Februar bis Mitte September ist die Luft wärmer als das Wasser, im Winter stellen sich die umgekehrten Verhältnisse ein. Dies ist von Bedeutung für die Wärmehaushaltsbetrachtungen, speziell für den Austausch fühlbarer Wärme zwischen Ozean und Atmosphäre.

### Niederschlag

Auch die Niederschlagsverhältnisse zeigen einen jährlichen Gang, wobei über die Verhältnisse auf freier See keinerlei abgesicherte Aussagen gemacht werden können, da die Beobachtungen dort nur spärlich sind. Abb. 14 zeigt für die Küstenstation Kiel die mittleren Tagessummen des Niederschlags in mm in den einzelnen Monaten des Jahres.

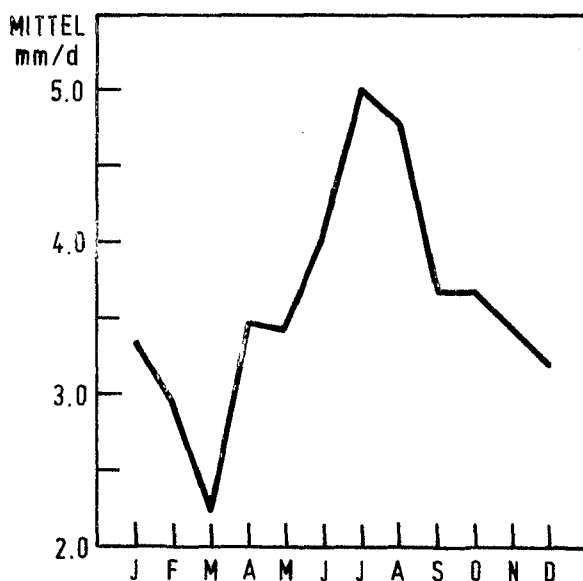


Abb. 14 : Mittlere Tagessummen des Niederschlages in mm.  
Küstenstation Kiel  
.nach: DEFANT (1972)

### Bewölkung

Bewölkung und Sonnenscheindauer wechseln über der Ostsee in allen Monaten recht erheblich. In der südlichen und westlichen Ostsee beträgt die mittlere Bewölkung im Durchschnitt  $6/8$ , im Sommer  $4/8$  -  $5/8$  der Himmelsbedeckung, dabei ist der Mai mit  $3/8$  -  $4/8$  der bewölkungsärmste Monat.

Die Sonnenscheindauer steht in enger Beziehung zur Bewölkung. In der Beltsee herrscht eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer von 4-6 h, maximale Beträge werden im Juni (8-11 h), minimale im Dezember (30-45 min) erreicht.

#### Luftfeuchte

Bei DEFANT (1972) werden folgende Angaben über Luftfeuchte und Wasserdampfgehalt gemacht:

Über See schwankt die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 70 und 95%. Fast an allen Küsten der Ostsee treten im normalen Tagesgang die höchsten Werte der Luftfeuchte bei Sonnenaufgang (im Winter 83-93%, im Sommer 75-85%) auf.

Die Mittagswerte sind zugleich die Tagestiefstwerte. Sie weisen jedoch einen stärkeren Jahresgang auf. Im Mai-Juni treten die niedrigsten relativen Feuchtwerte auf.

Auch der Wasserdampfgehalt ( $\text{g/m}^3$ ) schwankt in allen Ostseebereichen im Laufe des Jahres erheblich. Er zeigt sein Maximum im Juli und August ( $10-12 \text{ g/m}^3$ ) und das Minimum im Januar und Februar ( $3.5-4.5 \text{ g/m}^3$ ). Die mittleren Mittagswerte liegen im Sommer  $1-2 \text{ g/m}^3$  höher, während die mittleren Morgenwerte  $1-3 \text{ g/m}^3$  niedriger ausfallen als die Tagesmittelwerte.

Aus jüngerer Zeit liegen Wärmebilanzbetrachtungen aus der westlichen Ostsee (Fehmarnbelt) vor (STURM, 1968, 1970, 1971; KREMSER und MATTHÄUS, 1973; HELBIG und HUPFER, 1970; HUPFER, 1974 a), die sich alle der oben vorgestellten Größen im langjährigen Mittel bedienen.

3. Aus der Westlichen Ostsee vorliegende Daten

3.1. Temperatur

Tab. 4 : Wassertemperatur - vorhandene Daten

Wassertemperatur - vorhandene Daten

Ort	Meß- zeit- raum	Termine	Meßtiefe [m]	Tages- Monats- mittel	Jahres- mittel	Termin-	Schnitt-	Registrie- rung	als Zahlen- wert vorl.	T <sub>extr.</sub>	Bemerkungen
F. S. Flensburg	1936-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x				x		
	1948-64	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x				x		
	1950/54		0	x	x				x		
	1950/59		0	x	x				x		
	1954-64	4/Tag	0	x	x	x			x	x	
	1957		0	x	x				x		
	1958		0	x	x				x		
F. S. Kiel	1959		0	x	x				x		
	1936-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x				x		
	1948-68	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x				x		
	1950/54		0	x	x				x		
	1950/59		0	x	x				x		
	1953/68	4/Tag	0	x	x	x			x	x	
	1957		0	x	x				x		
	1958		0	x	x				x		
	1959		0	x	x				x		
	1963-68	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x				x		
			0,5, 10, 15, Boden	x	x				x		
	1963-67		0,5, 10, 15	x	x				x		
	1973		0 - 2	x	x				x		
	1953-56		0	x	x				x		
F. S. Fehmarn- belt	1924-36	3/Monat	Boden								
	1924-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0						x		
	Juli '36		0,5, 10, 15, 20, 25						x		
	1937-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5, 10, 15, 20, Boden						x		
	11.-18. 8.		0,5, 10, 15, 20, 25						x		
	1947		0,5, 10, 15, 20, 25						x		
	1948-73	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5, 10, 15, 20, 25, Boden	x	x				x		

Leuchtturm Kiel  
auch: Jahresschwan-  
kung, Quartalsmittel

Tagesgang d. Tempera-  
turmittel

Tagesgang d. Tempera-  
turmittel



# Wassertemperatur Fortsetz.

Ort	Meß- zeit- raum	Termine	Meßtiefe m	Tages-Monats-Jahres- mittel	Termin- mittel	Schnitt- Registrie- rung	als Zahlen- wert vorl.	Textr.	Bemerkungen
24.	1950/54		0, Boden	x	x		x		
25.	1950/59		0, Boden	x	x		x		
26.	1951/60		Isopleth.	x	x		x		
27.	1957		0, Boden	x	x		x		
28.	1958		0, Boden	x	x		x		
29.	1959		0, Boden	x	x		x		
30.	1961/70		0, Boden	x	x		x		
	1971		0, Boden	x	x		x		
	1972		0, Boden	x	x		x		
31.	1953-70	4/Tag	0	x	x		x		
32.	1960/61		Isoplethen	x	x		x		
33.	1953-70	4/Tag	0	x	x		x		
34. Eckernf. Bucht Südseite	Mai-Juni 1968		2, 4, 6, 8, 10, x 12				x		
35. Boknis Eck	Juni-Okt. unregel- mäßig		0, 5, 10, 15, 20, 25, 28				x		
36. Eck. Bucht: Buchtende	1967/68		5, 15	x			x		
Buchtmitte	1970		"	x			(Kurve)		
Buchtausgang	"		"	x			x		
Tonne Meile 1	"		"	x			x		
37. Eck. Bucht	ab 1974	unregel- mäßig		x			x		
38. Kieler Förde Hörn	1952-57		0, 14	x			x		
"Möltenort	1952-57		0, 15	x			x		
"Tonne A	1952-57		0, 17	x			x		
39. Kieler Förde	1956/57								

mittl. Jahresgang

Δ T zum Mittel von  
1961/70 "

aktueller Jahresgan

nur 36 Werte

auch Jahreschwän-  
kung

"

"

x

x

x

(Kurve)

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

0, 14

0, 15

0, 17

unregel-  
mäßig

1952-57

1952-57

1952-57

1956/57

# Wassertemperatur Fortsetz.

Ort	Meß- zeit- raum	Termine	Meßtiefe m	Tages-Monats-Jahres-Termin- mittel	Schnitt	Registrie- rung	als Zahlen- wert vorl.	T extr.	Bemerkungen
40.	11/51-6/52 11/52-6/53 6-11/54 6-11/55		Isoplethen Isoplethen Isoplethen Isoplethen	x x x x					
1. Kieler/Meckl. Bucht:Küste	1904-38 1902-56		0 0, Boden	x x			x x		Mittel über 54 J.
2.									
3. Schleimünde		1/Tag	0						wird vom Leuchtturmwärter gemessen
Travemünde		1/Tag	0						wird von Wasserschutz- polizei gemessen
4. Meßmast IfM	4-10/76	alle 4 Min.	0						Werte auf Datenträger
5. Kieler Bucht	1960/61	versch.	Boden						als Übersichtskarte
Ärö-Schleimü.	1960/61	"			x				
Bülk-Langelid.	1960/61	"			x				
Fehmarnbelt	1960/61	"			x				
6. Vejväsrinne querab Schlm. " Gelting " Boknis Eck	ab 1974 ab 1974 ab 1974 ab 1974	versch. " " "			x x x x		x x x x		
7. Flensb.Förde v.Kragesand	11.9.-3.12. 1972 20.3.-11.4. 1973 18.10.-3.12. 1972 20.3.-11.4. 1973		3,13 3,13 3,13 3,13			x x x x			
v.Neukirchen									

# Wassertemperatur Fortsetz.

Ort	Meß-zeit-raum	Termine	Meßtiefe m	Tages-Monats-Jahres-Termin-mittel	Schnitt	Registrierung	als Zahlen-wert vorl.	T extr.	Bemerkungen
48. Flensb. Förde	14.9.72 11.10.72 7.11.72 5.12.72 21.3.73 10.4.73					X X X X X X X			
49. Flensb. Förde	1961	versch.				X	X		
50. "	8.-10.12. 1972 11.-13.9.73 24.9.1973 10.-11.6.73					X X X X			Mittel aus allen Werten einer Station
51. F. S. Fehm.	2/60-3/61		0, Boden			X			
52. Kiel. Förde	1952	2 Tage				X			
Fl. Förde	1952	1 Tag				X			

Literaturverzeichnis : Wassertemperatur

1. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der  
Nord- und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1936 ff
2. } KOOPMANN, G., 1959 : German observations of the hydro-  
5. } graphic conditions in the Western Baltic in 1957  
Annales Biol. XIV
3. } GOEDECKE, E., 1961 : German observations in the Western  
7. } Baltic in 1959  
Annales Biol. XVI
6. KOOPMANN, G., 1960 : German observations in the Western  
Baltic in 1958  
Annales Biol. XV
4. Meteorologische Beobachtungen auf den Feuerschiffen der  
Nord- und Ostsee  
DWD - Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr. 13, 15,  
19, 22, 32, 26, 42, 45, 57, 60, 62, 64, 74, 81, 84, 87, 89
8. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der  
Nord- und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1930 ff
9. }  
12. } wie 2. und 5.
10. }  
14. } wie 3. und 7.
11. wie 4.
13. wie 6.
15. }  
17. } wie 8.
16. MÜNZER, E., 1970 : Die Temperaturschichtung in der  
Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforschungen 26 p.43
18. KÄNDLER, R., 1959 : Hydrographische Beobachtungen in  
der Kieler Förde 1952 - 1957  
Kieler Meeresforschungen 15 p.145
19. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der  
Nord- und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1924 ff
20. WEIDEMANN, H., 1948 : Über unperiodische und periodische  
Vorgänge beim Wasseraustausch der Beltsee  
Dissertation, Kiel, Institut für Meereskunde

21. wie 19.
22. wie 20.
23. wie 19.
24. wie 2. und 5.
- 27.
25. wie 3. und 7.
- 29.
30. PRAHM, G., 1972 : Hydrographic conditions in the western Baltic in 1971 and 1972  
Annales Biol. XXIX
28. wie 6.
26. KRUG, J., 1963 : Erneuerung des Wassers in der Kieler Bucht am Beispiel 1960/61  
Kieler Meeresforschungen 19 p.158
31. Meteorologische Beobachtungen auf den Feuerschiffen
33. der Nord- und Ostsee  
DWD-Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr.13,15,19, 22,32,36,42,45,57,60,62,64,74,81,84,87,89
32. wie 26.
34. HATJE, G., 1971 : Interne Eigenschwingungen der Eckernförder Bucht aus Temperaturmessungen mit der Unterwasserwinde  
Diplomarbeit, IfM Kiel
35. KÄNDLER, R., 1957 : Cruises with R/V "Südfall"  
Annales Biol. 12 p.109
36. STEIN, K., 1970 : Atlas für Hydrographie und Schallwetter der Eckernförder Bucht  
Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr, Eckernförde
37. wie 46.
38. KÄNDLER, R., 1959 : Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde 1952-57  
Kieler Meeresforschungen 15 p.145
39. VISWANATHAN, R., 1960 : Salzgehalt, Temperatur und Seston in der Kieler Förde 1956 und 1957  
Kieler Meeresforschungen 16 p.48
40. KÄNDLER, R., 1960 : Typen der Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde  
Kieler Meeresforschungen 16 p.164
41. Beiträge zur Klimatologie der Ostsee  
Interner Bericht DWD, 1940  
(Als Sonderdruck BB I 16 im IfM Kiel)
42. LENZ, W., 1971 : Monatskarten der Temperatur der Ostsee dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte  
Deutsche Hydrographische Zeitschr. 11 Ergänzungsheft
43. Schriftl. Mitteilung Wetteramt Schleswig, Daten dort vorhanden

44. CLAUSS, E., G. HESSLER, P. SPETH, K. UHLIG, 1977 : Daten-  
dokumentation zum meteorologischen Meßprojekt "Kieler  
Bucht" 1976  
Berichte Inst. f. Meeresk.a. d. Univ. Kiel, Nr. 37
45. KRUG, J., 1963 : Erneuerung des Wassers in der Kieler  
Bucht im Verlaufe eines Jahres am Beispiel 1960/61  
Kieler Meeresforschungen 19 p.158
46. HATJE, G., 1976: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1975/76  
Rep.SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 24  
HATJE, G., 1977: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1976/77  
Rep.SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 31  
WITTSTOCK, R., U. SCHAUER, G. SCHALLER, 1978: Strömungen  
in der Vejsnäsrinne 1977/78  
Rep.SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 45
47. LANGE, W., T. MÜLLER, H. RAETHJEN, G. SIEDLER, 1975 :  
48. Untersuchungen zum Wasseraustausch in der Kieler Bucht  
BMFT-Forschungsbericht M75-06
49. KÄNDLER, R., 1963 : Hydrographische Untersuchungen  
über die Abwasserbelastung der Flensburger Förde  
Kieler Meeresforschungen 19 p.142
50. GEMEINSAMES Komitee Flensburger Förde, 1974: Untersuchen-  
gen der Flensburger Förde, Teilbericht 7: Wasseraustausch  
Selbstverlag Amtshuset Aabenraa
51. KRUG, J., 1963: wie 45
52. KÄNDLER, R., 1952: Hydrographische Untersuchungen zum  
Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostsee-  
küste Schleswig-Holsteins  
Kieler Meeresforschungen 9 p. 176

## Wassertemperatur - Kommentar

Der Umfang der aus der westlichen Ostsee vorliegenden Temperaturmessungen ist aus Tab. 4 ersichtlich. Auf den ersten Blick scheint ein reichhaltiges Datenmaterial vorzuliegen, jedoch sind bis auf die langfristigen Beobachtungen von den Feuerschiffen in der Kieler Bucht die Messungen mehr oder weniger stichprobenartig und daher wenig repräsentativ.

Ein interessantes Ergebnis liefert der Vergleich von Monatsmittelwerten aus langjährigen Feuerschiffsbeobachtungen mit Werten, die im gleichen Zeitraum auf monatlichen Terminfahrten in der Kieler Förde gewonnen wurden (GOEDECKE, 1961; KÄNDLER, 1959)(Abb. 15).

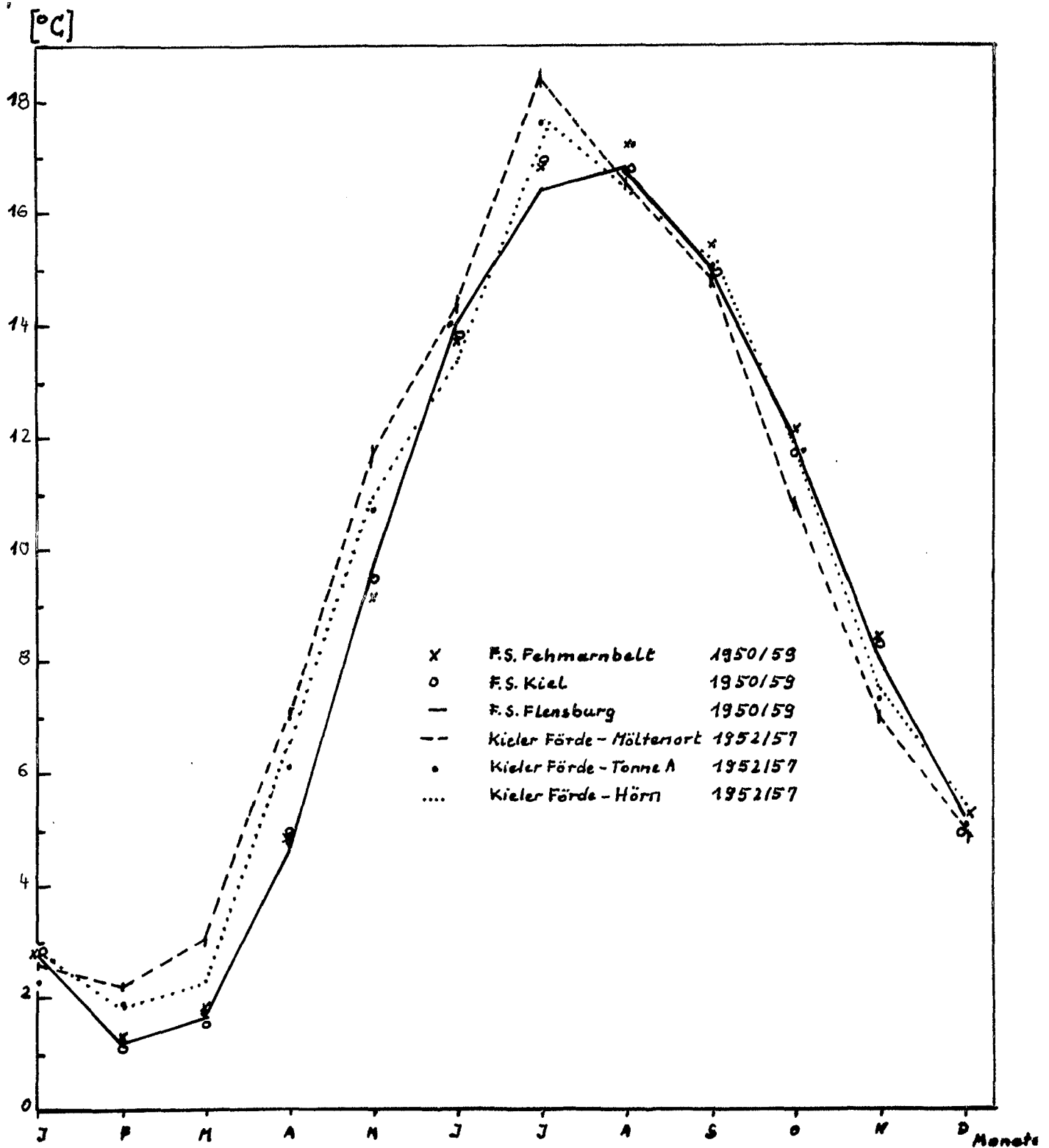
Es zeigt sich, daß der Jahresgang der Oberflächentemperatur im langjährigen Mittel auf allen Stationen etwa gleich verläuft. Wenn daher eine Auswertung aller von den Feuerschiffen "Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt" vorliegenden Oberflächentemperaturen (Zeiträume vgl. 3.7.) ein für den Jahresgang ähnliches Bild ergibt, können bei Bedarf für die Berechnung von Monatsmitteln für alle Gebiete der Kieler Bucht (mit Ausnahme der Lübecker Bucht) die Feuerschiffsbeobachtungen herangezogen werden.

Die Lübecker Bucht zählt nicht nur bei Temperaturmessungen zu den am wenigsten untersuchten Genieten der westlichen Ostsee.

Mit den Daten der Feuerschiffsbeobachtungen lassen sich auch Vergleiche der Tiefenwerte der Wassertemperatur durchführen, die unter Umständen die Aussage der Relevanz der Feuerschiffsmessungen für die gesamte Kieler Bucht unterstützen könnten.

Abb. 15 : Jahresgang der Oberflächentemperaturen an verschiedenen Stationen der Kieler Bucht

Feuerschiff "Flensburg"	1950/59
Feuerschiff "Fehmarnbelt"	1950/59
Feuerschiff "Kiel"	1950/59
Kieler Förde-Möllenort	1952/57
Kieler Förde- Tonne A	1952/57
Kieler Förde- Hörn	1952/57





3.2. Salzgehalt

Tab. 5 : Salzgehalt - vorhandene Daten

Salzgehalt - vorhandene Daten

- 47 -

ab 1970 auch Standardabweichung und Streuung

Abweichungen zum Mittel 1961/70

Ort	Meßzeitraum	Termin	[m] Meßtiefe	Jahresmittel	Monatsmittel	Jahresmittel	Terminmittel	Schnitt	als Übersichtskarte	Registrierung	Zahlenwerte	Extremwerte	Bemerkungen
1. F.S.Flensburg	1936-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0								x		
	1937-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5,15,20,25,Boden								x		
	1948-64	tgl. 8 <sup>00</sup>	0	x	x	x					x		
2. F.S.Fehmarnbelt	1950/54		0	x	x	x					x		
3. F.S.Fehmarnbelt	1950/59		0	x	x	x					x		
4. F.S.Fehmarnbelt	1957		0	x	x	x					x		
5. F.S.Fehmarnbelt	1958		0	x	x	x					x		
6. F.S.Fehmarnbelt	1959		0	x	x	x					x		
7. F.S.Fehmarnbelt	1924-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0								x		
	1924-36	3/Monat	19,26								x		
	1937-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5,10,15,20,Boden								x		
	1948-73	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5,10,15,20,25,Boden	x	x	x					x		
8. F.S.Fehmarnbelt	1950/54		0,Boden	x	x	x					x		
9. F.S.Fehmarnbelt	1950/59		0,Boden	x	x	x					x		
10. F.S.Fehmarnbelt	1957		0,Boden	x	x	x					x		
11. F.S.Fehmarnbelt	1958		0,Boden	x	x	x					x		
12. F.S.Fehmarnbelt	1959		0,Boden	x	x	x					x		
13. F.S.Fehmarnbelt	1961/70		0,Boden	x	x	x					x		
	1971		0,Boden	x	x	x					x		
	1972		0,Boden	x	x	x					x		
14. F.S.Kiel	1936	tgl. 8 <sup>00</sup>	0								x		
	1937-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5,10,Boden								x		
	1948-60	tgl. 8 <sup>00</sup>	0								x		
	1962-68	tgl. 8 <sup>00</sup>	0,5,10,15,Boden	x	x	x					x		

Salzgehalt Fortsetz.

Ort	Meßzeitraum	Termin	Meßtiefe m	Tages- mittel	Monats- mittel	Jahres- mittel	Termin- mittel	Schnitt	als Über- sichtskarte	Registrie- rung	Zahlen- wert	Extrem- werte	Bemerkungen
15.	1950/54		0	x	x	x					x		
16.	1950/59		0	x	x	x					x		
17.	1957		0	x	x	x					x		
18.	1958		0	x	x	x					x		
19.	1959		0	x	x	x					x		
20.	1963/67		0,5,10,15		x						x		
21.	Kiel. Bucht												
	Sonderbg.	1876-92	0, Boden		x						x		
	Eckernfd.	1876-92	0, Boden		x						x		
	Friedr'ort	1876-92	0, Boden		x						x		
	Fehm'sund	1876-92	0, Boden		x						x		
	Travem'de	1876-92	0, Boden		x						x		
22.	Küste	1902-56	0, Boden		x				x				
23.	Flensb.F.	8.-10.12.72						x					
		10.6.73						x					
		10.-11.6.73						x					
		11.-13.9.73						x					
		24.9.73						x					
24.	Kieler F.	1.-15.1.1952						x		x			
	3 Stat.	1.-15.1.1952						x		x			
		6.-20.3.52						x		x			
		11.-25.4.52						x		x			
		22.6.-10.7.53						x		x			
		19.7.-2.8.53						x		x			
		2.-16.8.53						x		x			
		13.-27.11.53						x		x			
		21.2.-7.3.54						x		x			
		6.-20.6.54						x		x			
		4.-18.7.54						x		x			
		1.-15.8.54						x		x			
		6.-20.7.55						x		x			
		1.-15.8.55						x		x			
		3.-17.9.55						x		x			
		12.-27.11.55						x		x			

# Salzgehalt Fortsetz.

Ort	Meßzeitraum	Termin	Meßtiefe m	Jahres- mittel	Monats- mittel	Jahres- mittel	Termin- mittel	Schnitt	als Über- sichtskarte	Registrie- rung	Zahlen- werte	Extrem- werte	Bemerkungen
25. Möltenort	11/51-6/52 11/52-6/53 6-11/54 6-11/55		Isoplethen Isoplethen Isoplethen Isoplethen							x x x x			
26. Flensburg. Förde	14.9., 11.10. 7.11., 5.12. 1972 21.3., 10.4. 1973							x					
27.	8.11.-12.12. 1972 4.-27.7. '73 4.9.-25.10. 1973	7 Mess. 4 Mess. 2/Woche						x x x x					
28.	7.3., 24.5., 11.7., 6.9., 28.11.1961, 7.3.1962							x					
29.	1952	1 Tag						x					
30. F.S.Feh- marnbelt	1952/56 1951 1956		Boden Boden Boden	x x x x					x x x				
31.	1952/56 1951/60 1/'60- 3/'61 2/'60- 3/'61 1-12/'61 1937-39		0,15, 20,Bod. Isopl. Isopl. 0,Boden 0,Boden 0	x x x x						x x x x			mittl.und aktuel- ler Jahresgang
32.													
33. Kieler Bucht	16.-18.8., 12.-14.7. 1960		0,Boden 0,Boden					x x	x x				



Literaturverzeichnis : Salzgehalt

1. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord-  
und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1936 ff
2. } KOOPMANN, G., 1959 : German observations of the hydro-  
4. } graphic conditions in the Western Baltic in 1957  
} Annales Biol. XIV
3. } GOEDECKE, E., 1961 : German observations in the Western  
6. } Baltic in 1959  
} Annales Biol. XIV
5. KOOPMANN, B., 1960 : German observations in the Western  
Baltic in 1958  
Annales Biol. XV
7. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord-  
und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1924 ff
8. } wie 2. und 4.  
10. }
9. } wie 3. und 6.  
12. }
11. wie 5.
13. PRAHM, G., 1972 : Hydrographic conditions in the Western  
Baltic in 1971 and 1972  
Annales Biol. XXIX
14. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord-  
und Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1936 ff
15. } wie 2. und 4.  
17. }
16. } wie 3. und 6.  
19. }
18. wie 5.
20. MÜNZER, E., 1970 : Die Temperaturschichtung in der  
Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforschungen 26 p.43
21. WITTIG, H., 1953 : Der mittlere jährliche Gang des Salz-  
gehaltes in der Kieler und Mecklemburger Bucht  
Kieler Meeresforschungen 9(2)

22. BOCK, K.-H., 1971 : Monatskarten des Salzgehalts  
Deutsche Hydrograph. Zeitschr. 12 Ergänzungsband
23. Gemeinsames Komitee Flensburger Förde, 1974 : Unter-  
suchungen der Flensburger Förde, Teilbericht 7 :  
Wasseraustausch  
Selbstverlag Amtshuset Aabenraa
24. KÄNDLER, R., 1960 : Typen der Salzgehalts- und Tempera-  
turschichtung in der Kieler Förde
25. Kieler Meeresforschungen 16 p. 164
26. LANGE, W., T. MÜLLER, H. RAETHJEN, G. SIEDLER 1975 :  
Untersuchungen zum Wasseraustausch in der Kieler Bucht  
BMFT - Forschungsbericht - M 75 - 06
27. Gemeinsames Komitee Flensburger Förde, 1974 : Unter-  
suchungen der Flensburger Förde, Teilbericht 7 :  
Wasseraustausch  
Selbstverlag Amtshuset Aabenraa
28. KÄNDLER, R., 1963 : Hydrographische Untersuchungen über  
die Abwasserbelastung der Flensburger Förde  
Kieler Meeresforschungen 19 p. 142
29. KÄNDLER, R., 1952 : Hydrographische Untersuchungen zum  
Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostsee-  
küste Schleswig - Holsteins  
Kieler Meeresforschungen 9 p.176
30. WOLF, G., 1972 : Salzwassereinbrüche im Gebiet der west-  
lichen Ostsee  
Beiträge zur Meereskunde 29 p.67
31. KRUG, J., 1963 : Erneuerung des Wassers in der Kieler  
Bucht im Verlaufe eines Jahres am Beispiel 1960/61  
Kieler Meeresforschungen 19 p.158
32. WATTENBERG, H., 1949 : Die Salzgehaltsverteilung in der  
Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom- und Wetter=  
lage  
Kieler Meeresforschungen 5 (2) p.17
33. KRUG, J., 1963 : wie 31.
34. WATTENBERG, H., 1949 : wie 32
35. KÄNDLER, R., 1959 : Hydrographische Beobachtungen in der  
Kieler Förde 1952 - 1957  
Kieler Meeresforschungen 15 p.145
36. VISWANATHAN, R., 1960 : Salzgehalt, Temperatur und Seston  
in der Kieler Förde 1956 und 1957  
Kieler Meeresforschungen 16 p.48
37. KÄNDLER, R., 1952 : wie 29.
38. KÄNDLER, R., 1959 : wie 35.
39. KRUG, J., 1963 : wie 31.
40. MÜNZER, E., 1970 : Die Temperaturschichtung in der  
Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforschungen 26 p.43
41. Annales Biologiques 12 p.108

42. HATJE, G., 1976: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1975/76  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 24  
HATJE, G., 1977: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1976/77  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 31  
WITTSTOCK, R., U. SCHAUER, G. SCHALLER, 1978: Strömungen  
in der Vejsnäsrinne 1977/78  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 45
43. STEIN, K., 1970: Atlas für Hydrographie und Schallwetter  
der Eckernförder Bucht  
Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr, Eckernförde



## Salzgehalt - Kommentar

Über das aus der Kieler Bucht vorliegende Datenmaterial zum Salzgehalt gibt die Tabelle 5 eine Übersicht. Obgleich eine Salzgehaltsbestimmung in-situ nicht so problemlos wie z.B. eine Temperaturmessung ist und man meist auf Probenahmen und anschließende salinometrische Bestimmung im Labor angewiesen ist, weist Tab. 5 sehr zahlreiche Messungen nach. Viele dieser Messungen sind jedoch nur beschränkt brauchbar, da sie Schnitte darstellen, die für einzelne Gebiete bei bestimmten Wetterlagen oder zu verschiedenen Jahreszeiten Übersichten geben. Daher liefern wieder nur die Feuerschiffe der Kieler Bucht, auch in verschiedenen Tiefen, langjährige und regelmäßige Salzgehaltswerte.

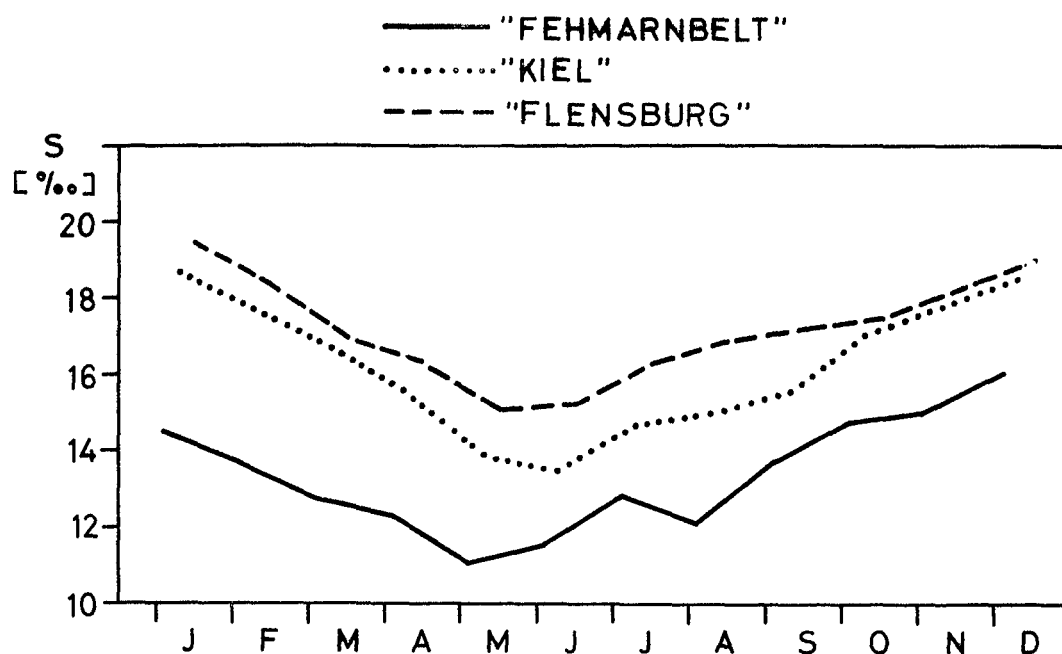
(F.S. "Flensburg" :	1936-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0 m
	1937-42	"	0,5,15,20,25 m, Boden
	1948-64	"	0 m, nur Monatsmittel
F.S. "Fehmarnbelt:	1924-42	tgl. 8 <sup>00</sup>	0 m
	1937-42	"	0,5,10,15,20 m, Boden
	1948-73	"	0,5,10,15,20,25 m und Boden, nur Monatsmittel
F.S. "Kiel" :	1936	tgl. 8 <sup>00</sup>	0 m
	1937-42	"	0,5,10 m, Boden
	1948-60	"	0 m
	1962-68	"	0,5,10,15 m, Boden, nur Monatsmittel).

Aus diesen Daten lassen sich Monatsmittelwerte berechnen, doch ist deren Gültigkeit wegen der komplizierten Salzgehaltsverhältnisse der Kieler Bucht auf den engeren Umkreis der Feuerschiffe beschränkt. Der Mechanismus der Frontenwanderung und des Ein/Ausstromsystems läßt sich aus den Feuerschiffsbeobachtungen zwar ablesen, doch über die z.T. morphologisch bedingte Verteilung besonders des Bodensalzgehaltes in Küstennähe und in den Förden können damit nur begrenzte Aussagen gemacht werden.

Die wetterlagenabhängigen kurzfristigen Schwankungen im Salzgehalt werden beim langzeitigen Mitteln übergangen (Abb. 16), aber ein deutlicher Jahresgang mit gegenläufigem Oberflächen- und Bodensalzgehalt wird sichtbar (vgl. 2.2.). Eine Prüfung aller vorliegenden Daten auf Extremwerte des Salzgehaltes in den einzelnen Regionen der Kieler Bucht

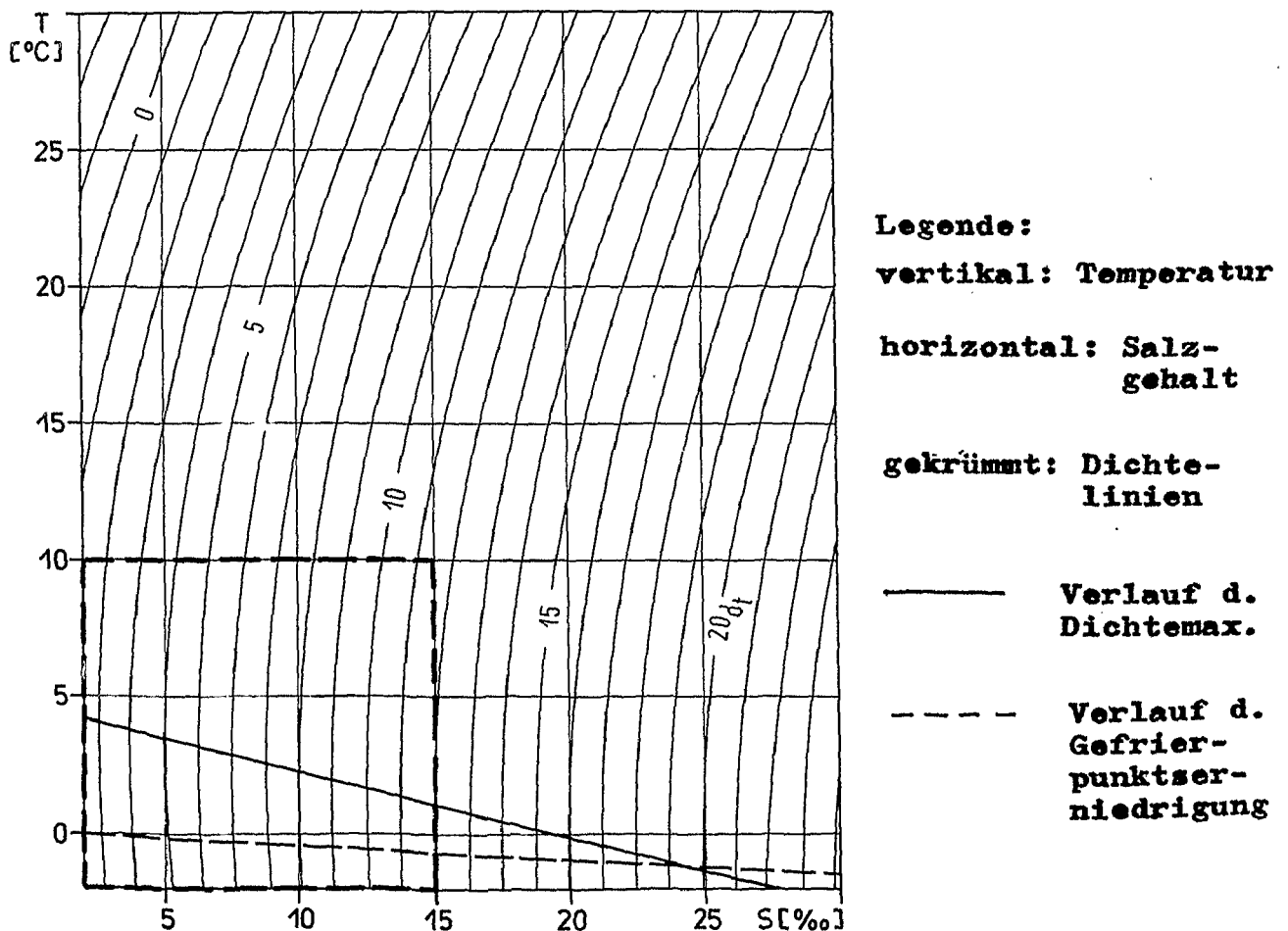
ergab nach einer ersten Übersicht Höchst- und Tiefstwerte zwischen  $30^{\circ}/\text{oo}$  und  $5 - 10^{\circ}/\text{oo}$ .

Abb. 16 : Monatsmittel des Oberflächensalzgehaltes bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht



Für die Dichteschichtung in der westlichen Ostsee ist der Salzgehalt der bestimmende Parameter, daher sind fundierte Kenntnisse seines Jahresganges nicht ohne Bedeutung.

Aufgrund der bestehenden Salzgehalts- und Temperaturverhältnisse zeigt weniger der Temperatureinfluß (z.B. bei der Frühjahrserwärmung) als vielmehr der Salzgehalt einen stabilisierenden Effekt im Dichteprofil. Anhand des folgenden TS-Diagramms sei dieser Vorgang kurz erläutert:



Die nur schwache Krümmung der Dichtelinien im für Ostseeverhältnisse in Frage kommenden Temperatur- und Salzgehaltsbereich ( $0 - 10^{\circ}\text{C}$  und  $5 - 20^{\circ}/\text{‰}$ ) bedingt deutlich stärkere Dichteänderungen bei Veränderung des Salzgehaltes (und konstanter Temperatur) als bei Veränderungen der Temperatur (und konstantem Salzgehalt). Eine Erwärmung um z.B. 5 Temperatureinheiten hat somit nur eine Dichteabnahme von  $1/3 - 1$  Dichteinheiten zu Folge, während sich eine Salzgehaltsänderung (z.B. Durchgang einer "Front" (vgl. 2.2.) von ebenfalls 5 Salzgehaltseinheiten als Anstieg der Dichte um 4 Dichteinheiten äußert..

3.3. Strömungen, Seegang, Gezeiten

Tab. 6 : Strömungen - vorhandene Daten

# Strömungen - vorhandene Daten

Ort	Meßzeitraum	in m Meßtiefe	Rich- tung	Geschwin- digkeit	Regi- strierung	als Zahlen- wert vorl.	allg.Über- sichtskarte	Bemerkungen
1. F.S.Flensburg	1936-42	0	x	x		x		6 Termine/Tag
	1948-64	0	x	x		x		6 Termine/Tag
2. F.S.Fehmarn- belt	1924-42	0	x	x		x		6 Termine/Tag
	1948-73							
3. F.S.Kiel	1936-42	0	x	x		x		6 Termine/Tag
	1948-68	0	x	x		x		6 Termine/Tag
4. Kieler Bucht	1936/37	0, Boden						Schematische Karte n.Beob.Dt.Seewarte
5. Eckernf.Bucht v.Krusendorf	27.3.-28.6.68	20	x	x	x			1/2 Std.-Mittel
6. F.S.Fehmarn- belt	9.8.-5.9.47	0	Ein/Aus- strom	x	x			58
7. Fehmarnsund	15.6.1952	0		x				Linien gleicher Ofl stromgeschw.n.Mess.
	10./11.9.52	0	x	x				Strahlströmung n, Schwimmkörpermessun
8. F.S.Fehmarn- belt	1.-12.11.53	0	Ein/Aus- strom	x	x			
9.	18.-27.8.51	0,22	"	x	x			
	22.-26.7.51	0	"	x	x			
	12.-21.8.51	0,22	"	x	x			
	1.-6.6.51	0,22	"	x	x			
	17.-19.6.52	0	"	x	x			
	17.-22.7.51	0,22	"	x	x			
	16.-24.10.51	0,22	"	x	x			
	26.9.-8.10.52	0,20	"	x	x			
	29.10.-4.11.52	0,20	"	x	x			
10.	15.-23.12.52	0,20	"	x	x			
	12.-25.11.52	0,20	"	x	x			
	22.11.-14.12.52	0	"	x	x			

# Strömungen Fortsetz.

Ort	Meßzeitraum	Meßtiefe in m	Rich- tung	Geschwin- digkeit	Regi- strierung	als wert vorl.	allg.Über- sichtskarte	Bemerkungen
11.	9.-19.1.53	0,20	"	x	x			
	26.1.-28.2.53	0	"	x	x			
	1.-10.12.52	0,20	"	x	x			
		0-7.5	"			x		Prozentuale Vertei- lung v.Ein/Aus-und Querstrom b.1296 Be- obachtungen
12.	8.-12.7.1936	0,5,10,15, 20,25	"	x		x		n.Beob.Dt.Seewarte jeweils Ostkompon.
	14.-18.7.36	"	"	x		x		"
	22.-27.4.37	"	"	x		x		"
	29.4.-5.5.37	"	"	x		x		"
	27.-29.7.37	"	"	x		x		"
	31.7.-8.8.37	"	"	x		x		"
	9.-10.8.37	"	"	x		x		"
	3.-9.12.37	"	"	x		x		"
	12.-16.12.37	"	"	x		x		"
		0	x	x			x	n.Dietrich 1951
13. Kieler Bucht	15.-16.4.50	5,4	x	x	x			2 Meßstellen
14. Lüb.Bucht	20.-21.4.50	3.5,4,5	x	x	x			3 Meßstellen
	27.-28.3.50	5,19.5	x	x	x			3 Meßstellen
	11.-12.4.50	5,4	x	x	x			2 Meßstellen
	28.-29.4.50	3.5,4,5	x	x	x			3 Meßstellen
	26.-27.7.50	0.5,2.5, 4.5	x	x	x			1 Meßstelle
	29.-30.7.50	0.5,2.5, 4.5	x	x	x			1 Meßstelle
5. NW v.Mittel- grund	5.-7.12.1961	7,11,17, 21	x	x	x		x	b.nordöstl.Winden in Strandnähe
"u.südlich	10.-21.10.62	19,21	x	x	x			
6. Flensb.Förde: Querab Holnis	9.11.-19.12.72	12.7	x	x	x			Mittel über 10 Min.
	4.-27.7.73	3,12.5	x	x	x			"
	4.-13.9.73	11.5	x	x	x			Mittel über 5 Min.

# Strömungen Fortsetz.

Ort	Meßzeitraum	Meßtiefe in m	Rich- tung	Geschwin- digkeit	Regi- strierung	als Zahlen- wert vorl.	allg.Über- sichtskarte	Bemerkungen
17. vor Krage- sand	14.-27.9.73	3,11.5	x	x	x			"
	28.9.-13.10.73	3	x	x	x			
	11.9.-3.12.72	9,19	x	x	x			
	20.3.-11.4.73	9,19	x	x	x			
vor Neukir- chen	18.10.-3.12.72	9,19	x	x	x			
	20.3.-11.4.73	9,19	x	x	x			
	13.-17.10.61	8	x	x		x		1/2 Std.-Mittel
	12.-23.10.61	8	x	x		x		"
18. 54°50.8'N								
9°53.6'E								
54°50.3'N								
9°53.4'E								
54°50.2'N								
9°53.4'E								
54°49.8'N								
9°53.7'E								
54°49.8'N								
9°53.9'E								
54°49.2'N								
9°44.9'E								
54°53.2'N								
9°37.4'E								
54°50.1'N								
9°45.2'E								
54°49.6'N								
9°52.0'E								
19. Fehmarnbelt								
	28.8.-7.9.62	4	x	x	x			N-und 0 - Komponente
20. Vejsnäsrinne								
	28.8.-5.9.62	5	x	x	x			1/2 Std.-Mittel
1. Fehmarnbelt								
	1975 - 1978	12-30	x	x	x			"
	seit 1976		x	x				

Literaturverzeichnis : Strömungen

1. } Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse ;
2. } Beobachtungen auf den Feuerschiffen der Nord- und
3. } Ostsee, Deutsches Hydrographisches Institut,  
Hamburg, 1924 ff
4. MACHENS, R., 1949: Zur Frage der Zirkulation in der  
Kieler Bucht  
Schriften d.Naturwiss.Vereins Schl.-Holst. 24 (1)
5. MÜNZER, E., 1970: Die Temperaturschichtung in der  
Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforschungen 26 p.43
6. WEIDEMANN, H., 1950: Untersuchungen über unperiodische  
und periodische Vorgänge in der Beltsee  
Kieler Meeresforschungen 7 p.70
7. WEIDEMANN, H., 1955/56: Strömungsuntersuchungen im  
Fehmarnsund  
Deutsche Hydrographische Zeitschrift 8/9 p.89
8. WOLF, G., 1961: Über die hydrologischen Verhältnisse  
in der westlichen Ostsee im November 1953  
Beiträge zur Meereskunde 1 p.39
9. WYRTKI, K., 1953: Die Dynamik der Wasserbewegungen im  
Fehmarnbelt I  
Kieler Meeresforschungen 9 (2) p.155
10. WYRTKI, K., 1954: Die Dynamik der Wasserbewegungen im  
Fehmarnbelt II  
Kieler Meeresforschungen 10 (2) p.162
11. HELM, R., 1968: Zum Problem der Strömungen im Fehmarn-  
belt  
Beitr.z.Meereskunde 22 p.25
12. KÄNDLER, R., 1951: Der Einfluß der Wetterlage auf die  
Salzgehaltsschichtung im Übergangsgebiet zwischen Nord-  
und Ostsee  
Deutsche Hydrogr.Zeitschrift 4 (4/5/6) p.150
13. DIETRICH, G., 1951: Oberflächenströmungen im Kattegat,  
im Sund und in der Beltsee  
Deutsche Hydrogr.Zeitschrift 4 p.129
14. DIETRICH, G.und WEIDEMANN, H.,1952: Strömungsverhält-  
nisse in der Lübecker Bucht  
Küste 2 p.69
15. GEYER, D., 1965: Eigenschwingungen und Erneuerung des  
Wassers in der Eckernförder Bucht unter besonderer  
Berücksichtigung der Sturmlage vom 5.-6.Dez. 1961  
Kieler Meeresforschungen 21 p.33



16. Gemeinsames Komitee Flensburger Förde, 1974: Untersuchungen der Flensburger Förde, Teilbericht 7: Wasseraustausch  
Selbstverlag Amtshuset Aabenraa
17. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse : Strombeobachtungen 1961, Nordsee und Flensburger Förde  
Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg 1969
18. LANGE, W., MÜLLER, T., RAETHJEN, H., SIEDLER, G., 1975: Untersuchungen zum Wasseraustausch in der Kieler Bucht  
BMFT-Forschungsbericht M75-06
19. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse: Strombeobachtungen 1962, Nordsee und Fehmarnbelt  
Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg 1969
20. HATJE, G., 1976: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1975/76  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 24  
HATJE, G., 1977: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1976/77  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 31  
WITTSTOCK, R., U. SCHAUER, G. SCHALLER, 1978: Strömungen in der Vejsnäsrinne 1977/78  
Rep. SFB 95, Univ. Kiel, Nr. 45
21. Mündl. Mitteilung, unveröffentl. Daten der Abt. Theoretische Ozeanographie, IfM Kiel

Tab. 7 : Seegang - vorhandene Daten

Ort	Meßzeitraum	Termine	Richtung	Petersen- stärke	Periode T	Wellen- höhe H	als Zahlen- wert vorlieg.	Bemerkungen
1. F. S. Flensburg	1947-62	6/Tag	x	x			x	
2. F. S. Kiel	1947-67	6/Tag	x	x			x	
3. F. S. Fehmarn- belt	1947-67	6/Tag	x	x			x	
	1968-78	6/Tag			x	x	x	
4. F. S. Kiel	1949-54				x	x	x	
5. F. S. Flensburg	1949-54				x	x	x	
6. F. S. Fehmarn-el belt	1949-54				x	x	x	
7. Surendorf Meßpegel	9.5.-3.6.1968	konti- nuierl.			x	x	x	Häufigkeiten von H und T in %. Angaber mit Windstärken kon- binert und auf 4- 8 Bft. beschränkt
8. F. S. Kiel	1971-78	4/Tag				x	x	Monats- u. Termin- mittel
9. F. S. Fehmarn- belt	1968-78	4/Tag				x	x	Monats- u. Termin- mittel
10. F. S. Fehmarn- belt	1953-78	4/Tag			x		x	64 Häufigkeit hohen Seegangs in %
11. F. S. Fehmarn- belt	1925-35			x				

Literaturverzeichnis : Seegang

- 1.- Meereskundlichen Beobachtungen und Ergebnisse,  
3. Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord-  
und Ostsee  
DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT, Hamburg, 1947 ff.
- 4.- WALDEN, H., 1960: Der Seegang bei den Feuerschiffen  
"Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt"
6. Deutscher Wetterdienst Seewetteramt Hamburg, Einzelver-  
öffentlichung Nr. 26
7. MÜNZER, E., 1969: Das Eindringen des täglichen Tempera-  
turganges in das Meer aus Messungen in der Eckernförder  
Bucht  
Dissertation, Math.-Nat. Fakultät, Inst. f. Meereskunde  
Univ. Kiel
- 8.- Meteorologische Beobachtungen auf deutschen Feuerschif-  
fen der Nord- und Ostsee 1953 - 78
10. Deutscher Wetterdienst Seewetteramt Hamburg, Einzelver-  
öffentlichungen
11. BEITRÄGE zur Klimatologie der Ostsee, 1940  
Deutscher Wetterdienst, Interner Bericht (Sonderdruck  
BB I 16 Bibliothek IfM Kiel)

### Seegang, Gezeiten - Kommentar

Seegangsbeobachtungen liegen in der Kieler Bucht als routinemäßige Beobachtungen der Feuerschiffsbesatzungen und in ausgewerteter Form (auf derartigen Beobachtungen basierend) von WALDEN (1960) vor (Tab. 7). Auch hier kann eine Auswertung des Datenmaterials der Feuerschiffe "Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt" Werte über höchste und häufigste Wellenhöhen und -perioden liefern. Leider liegt ein großer Teil der Feuerschiffsmessungen nur als Angabe der Seegangsstärke ("Petersen-Skala") vor, so daß diese vorläufig nicht zur Auswertung herangezogen werden können. Eine Umrechnung der Petersen- Stärke in Wellenhöhen und -perioden scheint mit zu großen Unsicherheiten behaftet, da Umrechnungstabellen nicht vorliegen und man nur mit dem Vergleich der Wellenhöhenhäufigkeiten arbeiten könnte. Eine Übersicht über den Jahresgang der Wellenhöhen und -perioden existiert bisher nicht, läßt sich aber, auf den Angaben der Feuerschiffe aufbauend, erstellen.

### Strömungen - Kommentar

Die Tabelle 6 zeigt eine Vielzahl von Strömungsmessungen aus der gesamten Kieler Bucht einschließlich der Lübecker Bucht. Wieder liefern die Feuerschiffe das umfangreichste Datenmaterial, doch auch Eckernförder Bucht, Flensburger Förde und der Fehmarnbelt sind mit zahlreichen Messungen vertreten.

Dennoch können alle diese Daten kaum verwendet werden, da die Feuerschiffe nur Oberflächenstrommessungen (mit dem Stromkreuz gemessen) liefern und die anderen Messungen meist nur stichprobenhafte Einzelmessungen sind. Sie reichen nicht aus, um ein geschlossenes Bild über die Strömungsverhältnisse in der Kieler Bucht zu liefern.

3.4. - Windverhältnisse -

Tab. 8 : Windverhältnisse - vorhandene Daten

# Windmessungen - vorhandene Daten

Ort	Meßzeitraum	Termin	Geschwindigkeit in Bft.	Geschwindigkeit in m/sec	Richtung	Geschwindigkeit	Terminmittel	Monatsmittel	Jahresmittel	als Zahl	Bemerkungen
1. F. S. Flensburg	1936-42	6/Tag	x		x	x				x	von 8 Term/Tag, und Monatsmittel der Häufigkeit in %
2.	1948-64	6/Tag	x		x	x				x	"
3.	1949-52		x			x				x	Häufigkeit in %
4.	1953-64		x			x				x	"
5.	1953-64				x					x	
6.	1949-52				x					x	
7. F. S. Kiel	1936-42	6/Tag	x		x	x				x	8 Term/Tag und Monatsmittel der Häufigkeit in %
8.	1948-68	6/Tag	x		x	x				x	"
9.	1953-70		x		x	x				x	Häufigkeit in %
10.	1949/50		x			x				x	"
11.	1953-70				x					x	
12.	1949-52				x					x	
13. F. S. Fehmarn	1924-42	6/Tag	x		x	x				x	von 8 Ter./Tag und Monatsmittel der Häufigkeit in %
14.	1948-68	6/Tag	x		x	x				x	"
15.	1970-73	12/Tag		x	x	x				x	Häufigkeit in %
16.	1953-70	4/Tag	x	x	x	x				x	"
17.	1953-70									x	
18.	1953-70									x	von 8 Ter./Tag und Monatsmittel der Häufigkeit in %
19. Westermarskeldsdorf/Feh.		24/Tag		x	x					x	beim Wetteramt Schleswig
20. Kiel-Holtenau Kanalamt		24/Tag		x	x					x	beim Wetteramt Schleswig
21. Dahmeshöved				x	x					x	automatische Wetterstation
22. Travemünde		7, 14, 21 <sup>00</sup>	x		x	x				x	beim Wetteramt Schleswig
23. Neuland		7, 14, 21 <sup>00</sup>	x		x	x				x	"
24. Schleimünde	1914-38	3/Tag			x					x	Häufigkeit in %
25.	1914-38	3/Tag	x			x				x	Häufigkeit d. Windstärken $\geq 8$ Bft i. 9

# Windmessungen Fortsetz.

Ort	Meßzeitraum	Termin	Geschwindigkeit in Bft.	Geschwindigkeit in m/sec	Richtung	Geschwindigkeit	Termin-mittel	Monats-mittel	Jahres-mittel	als Zahl	Bemerkungen
26.	1914-38	3/Tag	x			x				x	Häufigk.d.Windstärkegruppen in %
27. Travemünde	1914-38	3/Tag			x					x	Häufigk.in %
28.	1914-38	3/Tag	x			x				x	Häufigk.d.Windstärke $\geq 8$ Bft in %
29.	1914-38	3/Tag	x			x				x	Häufigk.d.Windstärkegruppen in %
30. Schl.-Holst.		Frühl./Sommer		x		x		x			Übersichtskarte
		Herbst/Winter		x		x					Übersichtskarte
31.	1881-1925										Übersichtskarte
32. Tr'mde-Privat	1930-39	7 <sup>00</sup>	x		x	x			x		Häufigkeit d.Windstillen, Übersicht
33.	1930-39	So/He	x		x	x					Häufigk.i.% als Kreisdarstellung
	1930-39	Wi/Frü	x		x	x					"
34. Flensburg	1934-38			x		x		x		x	durch Bft.-Umrechnung
35. Schleimünde	1914-38			x		x		x		x	"
36. Kiel	41 Jahre			x		x		x		x	"
37. F.S.Fehmarnbelt	1922-37			x		x		x		x	durch Bft.-Umrechnung
38. Travemünde	1914-38			x		x		x		x	"
39. Lübeck	1933-38			x		x		x		x	"
40.	8/1929-7/1939										Häufigk.i.% d.Windricht.u.-stillen f.alle Tage e.Jahres, Registrierung
41. Tr'mde-Privat	8/1929-7/1939				x	x					"
42. Meßmast IfM	Apr.-Okt.'76	alle 4 min		x	x	x				x	Registrierung
43. Leuchtturm Kalkgrund	11.9.-3.12.1972			x	x					x	Registrierung



Literaturverzeichnis : Windmessungen

1. } Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse :  
2. } Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der  
7. } Nord- und Ostsee  
8. } Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1924 ff  
13. }  
14. }  
15. }
4. } Meteorologische Beobachtungen auf deutschen Feuerschiffen  
5. } der Nord- und Ostsee 1953- 78  
9. } Deutscher Wetterdienst Seewetteramt Hamburg, Einzelver-  
10. } öffentlichungen  
11. }  
16. }  
17. }  
18. }
3. } Meteorologische Beobachtungen auf den Feuerschiffen  
6. } der Nord- und Ostsee  
12. } DWD - Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen  
Nr. 13, 15
- 19.-23. Schriftwechsel mit dem Wetteramt Schleswig  
(Daten dort vorhanden)
- 24.-29. Beiträge zur Klimatologie der Ostsee, Interner Be-  
richt, Deutscher Wetterdienst 1940  
(Sonderdruck am Institut für Meereskunde, Kiel,  
BB I 16)
- 30.-41. Bioklimatischer Atlas für Schleswig - Holstein  
Forschungsstelle für Landwirtschaftsplanung und  
Landschaftsgestaltung, Lübeck 1940
42. CLAUSS, E., G. HESSLER, P. SPETH, K. UHLIG, 1977 : Daten-  
dokumentation zum meteorologischen Meßprojekt "Kieler  
Bucht" 1976  
Berichte Inst. f. Meeresk. a. d. Univ. Kiel, Nr. 37
43. LANGE, W., T. MÜLLER, H. RAETHJEN, G. SIEDLER 1975 :  
Untersuchungen zum Wasseraustausch in der Kieler Bucht  
BMFT - Forschungsbericht - M 75 - 06

## Windverhältnisse - Kommentar

Wie schon bei den anderen Parametern bieten die Feuerschiffe der Kieler Bucht auch bei den Windmessungen ein umfangreiches und langfristiges Datenmaterial, das zusammen mit den anderen Einzelmessungen (Tab. 8) für erste Abschätzungen der Windverhältnisse über der westlichen Ostsee ausreichend ist.

Um die Frage des Repräsentativwertes dieser Feuerschiffsbeobachtungen auch für andere Teile der Kieler Bucht zu klären, müssen die Feuerschiffsdaten mit Messungen von Küstenstationen (Daten z.B. vom Wetteramt Schleswig) verglichen werden.

Schon für ein Jahr (1966) ergab eine Gegenüberstellung der jeweiligen 8<sup>00</sup>-Messungen an den Stationen Kiel-Holtenau, F.S."Kiel", F.S."Fehmarnbelt" und Westermarkelsdorf/Fehmarn eine gute Übereinstimmung der Windrichtungen (Abb. 17). Ein Vergleich dieser vier Stationen bei drei Meßterminen pro Tag zeigte in einem Monat nur Richtungsabweichungen, die kleiner als 4 Skalenteile der 32-teiligen Windrose waren.

Eine weitere Aufarbeitung dieses Datenmaterials könnte zusammen mit Strömungsmessungen aus der Kieler Bucht den Zusammenhang zwischen den Wetterlagen über der westlichen Ostsee und den Ein/Ausstromlagen in der Kieler Bucht klären helfen.

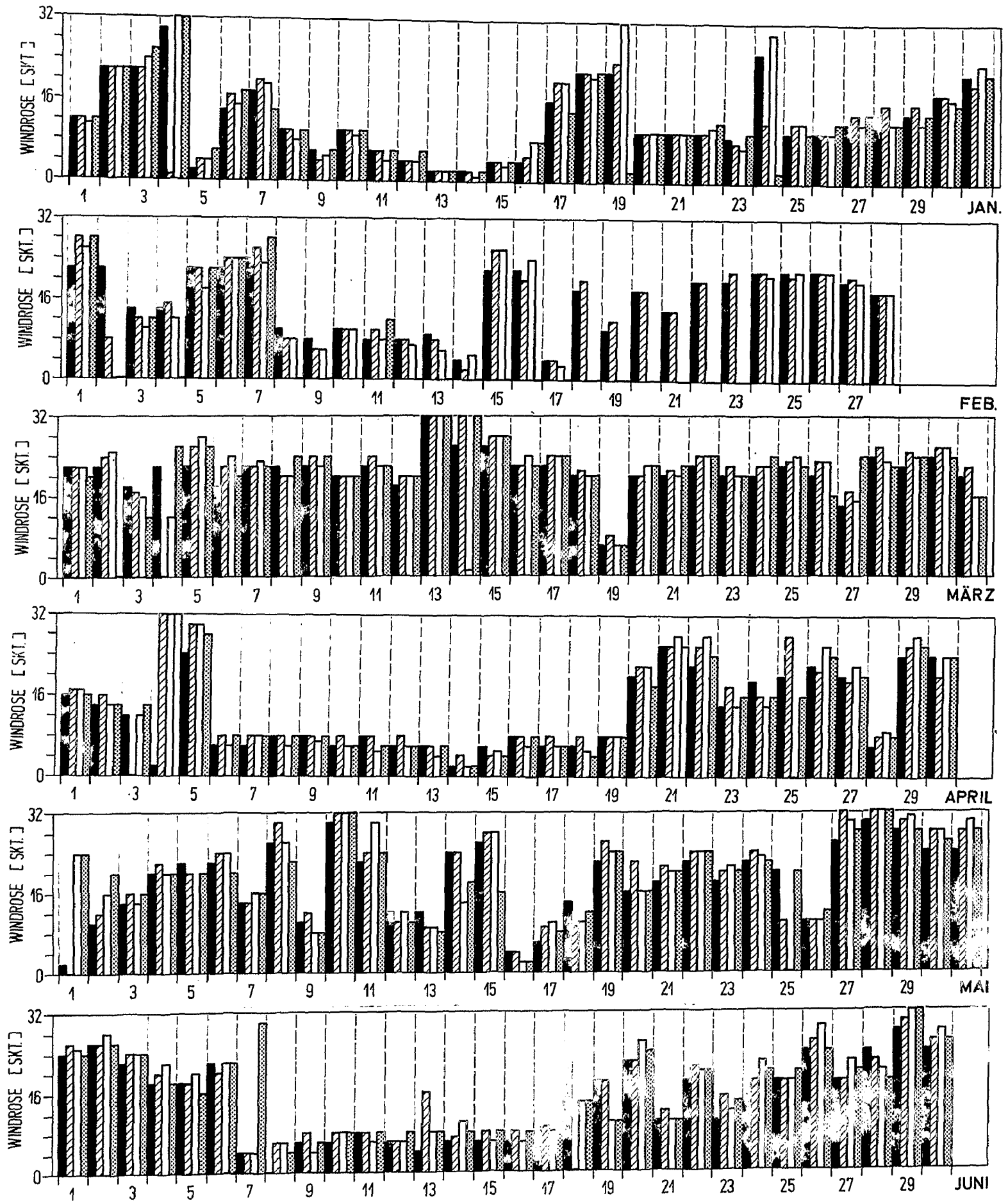
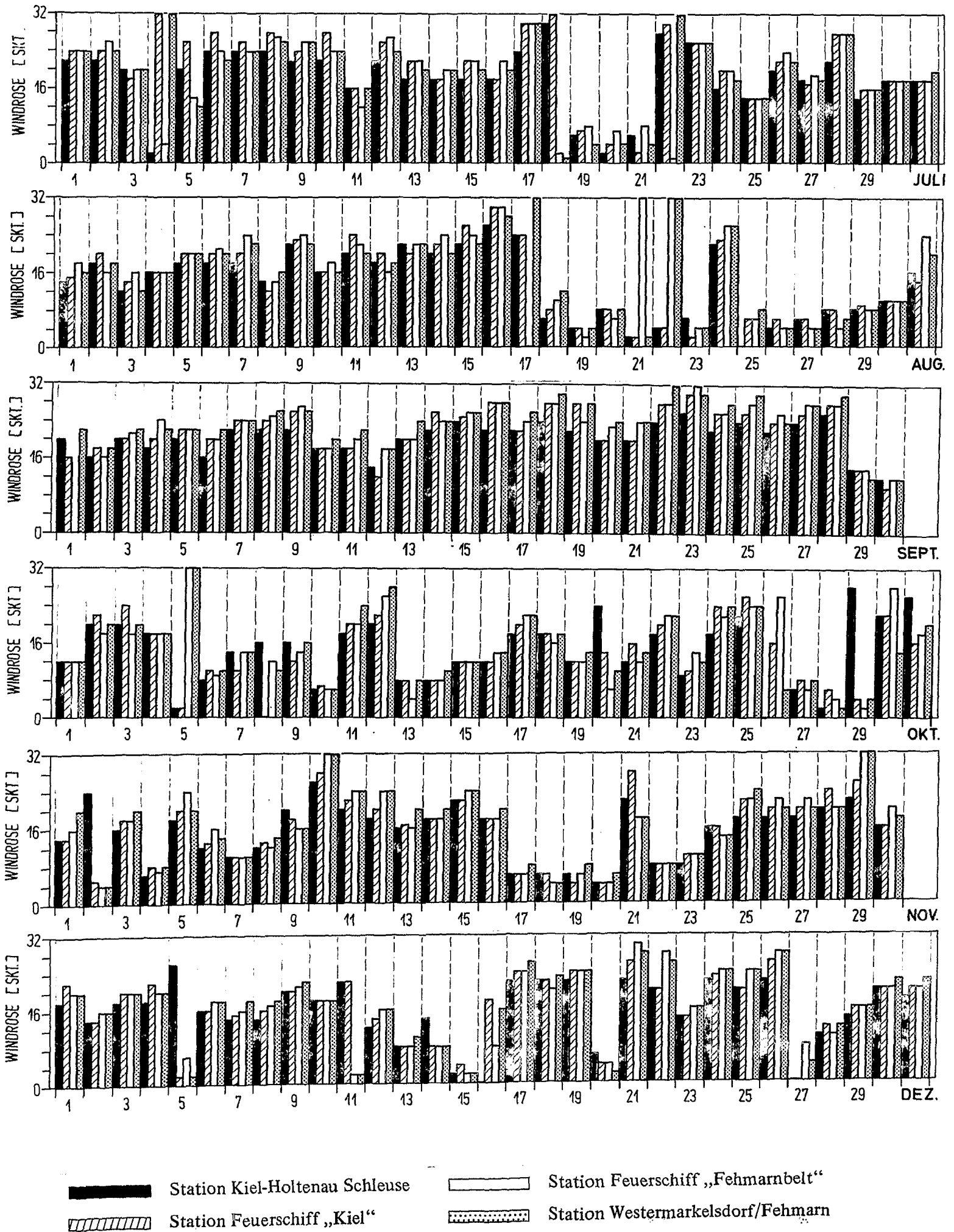


Abb. 17: Vergleich der Windrichtungen zu den 800-Terminen an den Stationen Kiel-Holtenau, F.S. „Kiel“, F.S. „Fehmarnbelt“ und Westermarkelsdorf/Fehmarn für 1966.

 Station Kiel-Holtenau Schleuse	 Station Feuerschiff „Fehmarnbelt“
 Station Feuerschiff „Kiel“	 Station Westermarkelsdorf/Leuchtturm



3.5. Diffusionskoeffizienten

Tab. 9 : Diffusionskoeffizienten - vorhandene Daten

Diffusionskoeffizienten - vorhandene Daten

Ort	Datum	Wassertiefe m	Art d. Diff. koeff.	Darstellungs- art	abgeleitet nach	Bemerkungen
1. Ostsee 54°30'N 14° E	9., 10. Okt. 1970	16- 17	horizontal	Tabelle	Richardson, 1926 Stommel, 1946	582 Werte, keine haline o. thermische Schichtung 258 Werte
2. Ostsee 54°38'N 12°58'E	12. 10. 1970	16- 17	horizontal	Tabelle	"	
3. Ostsee 54°39.8'N 12°58.3'E	23. 8. 1961	16	horiz. $K_x, K_y$	Tabelle	Okubo, 1968	Zeitabhängigkeit
4. Ostsee 54°25.2'N 14°0.72'E	30. 8. 1968	15	horiz. $K_x, K_y$	Tabelle	"	Zeitabhängigkeit
5. Ostsee	6 Term. 1965		vertikal	Tabelle	aus "dye-conc."	zusammen mit Wind, $N_z$ , shear current, Ri-Zahl
	3 " 1966		"	"	"	"
	5 " 1967		"	"	"	"
	6 " 1968		"	"	"	"
	1 " 1969		"	"	"	"
	6 " 1970		"	"	"	"
	2 " 1971		"	"	"	"
6. Engl. coastal and estuarine waters	1967-71 div. Termine		vert. u. horiz.	Tabelle	"image"-Methode o. "shear-veloc." M.	$K_x, K_y, K_{xy}, K_z$
7. Irische und Nordsee	div. Termine 1965, 69, 70		vert. u. horiz.	Tabelle	"	$K_x, K_y, K_z$
8. Lakes Erie, Ontario, Huron	1963-69		horiz. eddy diff. coeff.	graph. Darst.	aus "dye- conc."	$K_y$
9. Ostsee 55°48.3'N 12°49'E	26. 2. 1965	20-25	vertikal	Tabelle	aus "dye-conc."	zusammen mit Wind, $N^2$ , shear current, Ri-Zahl
55°46'N 12°45'E	17. 11. 1965	15-27	"	"	"	"
55°47'N 12°41'E	7. 12. 1967	13-14	"	"	"	"

Diffusionskoeffizienten Fortsetz.

Ort	Datum	Wassertiefe m	Art d. Diff. koeff.	Darstellungs- art	abgeleitet nach	Bemerkungen
55°47'N 12°41'E	8.12.1967	13-14	"	"	"	"
55°47'N 12°40'E	20.3.1968	14	"	"	"	"
55°47'N 12°42'E	22.3.1968	16	"	"	"	"
55°45'N 12°53'E	25.3.1968	15-20	"	"	"	"
55°47'N 12°42'E	29.3.1968	15	"	"	"	"
56°09'N 12°31'E	21.6.1965	24	"	"	"	"
57°40'N 11°35'E	16.8.1967	30	"	"	"	"
54°58'N 14°00'E	9.12.1969	45-50	"	"	"	"
55°04'N 14°08'E	10.12.1969	45-50	"	"	"	"
55°33'N 15°56'E	29.8.1970	85	"	"	"	"
55°34'N 16°04'E	30.8.1970	85	"	"	"	"
55°26'N 16°00'E	1.9.1970	85	"	"	"	"
10. Finnische Küste	div. Term.	0-100	vert. eddy diff. coeff.	Tabelle	aus langj. T-Verteilung	starke Stabilität
11. F. S. Schultz Grund			mean vert. eddy diff. coeff.	Tabelle	"	

Diffusionskoeffizienten Fortsetz.

Ort	Datum	Wassertiefe m	Art d. Diff. koeff.	Darstellungs- art	abgeleitet nach	Bemerkungen
12. F.S. Bogskär 59°31'N 20°31'E	1899-1914		vert. eddy conductivity	Tabelle	"	
13. Küste vor Zingst	1970, 1972	2.8-7.0	horizontal	Tabelle	Richardson, 1926 Stommel, 1949	Vergleich mit Werten anderer Küsten
14. Gotlandtief	1902-70	0-80	vert. turb. therm. Diff.	Tabelle	Fjeldstad Pivovarov	halbjährl. und jährl. Komponente d. Temp.- variationen
Landorttief	1902-70	0-80	"	"	"	"
15. Kieler Bucht Bülk	11.7.1973 26.9.1973 14.10.1974 15.10.1974		horizontal " " "	Tabelle " " "	aus "dye-conc." " " "	
16. Kieler Förde Kraftwerk	1976 div. Term. 12 Tage 1974		horizontal horiz. eddy visc. coeff.	mdl. Mitt. Tabelle	aus T-Mess. "Prandtl-Lettau- Theorie"	unveröffentlicht Zeitabhängigkeit
18. Eckernförder Bucht	1968	0 - 8	vertikal	Zeichnung	Fjeldstad 1933	bei verschiedenen Ver- mischungszuständen in Abhängigk. von d. Tiefe



Literaturverzeichnis : Diffusionskoeffizienten

1. BROSIN, H.-J., 1974: Untersuchungen zur mittelmaßstäblichen horizontalen Diffusion mit Driftbojen in den Gewässern um Rügen  
Beiträge zur Meereskunde 34 p.5
3. BROSIN, H.-J., 1972: Untersuchungen zur horizontalen Diffusion in den Gewässern um Rügen  
Beiträge zur Meereskunde 30/31 p.35
5. KULLENBERG, G., 1974: Investigations on dispersion in stratified vertical shear flow  
ICES Rapports Procés-Verbaux Vol.167 p.86
6. TALBOT, J.W. und TALBOT, G.A., 1974: Diffusion in shallow seas and in English coastal and estuarine waters  
ICES Rapports Procés-Verbaux Vol.167 p.93
7. MURTHY, C.R. und KENNEY, B.C., 1974: Diffusion in coastal currents of a lake  
ICES Rapports Procés-Verbaux Vol.167 p.111
8. KULLENBERG, G., 1976: Interim report on mixing studies Kap.6, p.83 in: Miljøstyrelsen Bæltprojektet, Miljøstyrelsen, Kampmannsgade 1, København V
10. HELA, I., 1966: Vertical eddy diffusivity of waters in the Baltic Sea  
Geophysica 2 (3) p.219
11. JACOBSEN, J.P., 1913: Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer  
Medd. Komm. Havundersøgelser, Ser.Hydrogr. 2, København
12. SIMOJOKI, H., 1946: On the temperature and salinity of the sea in the vicinity of the Bogskär lighthouse in the northern Baltic  
Soc. Sci. Fenn., Comm. Math.-Phys. VIII (7) pp 24
13. BROSIN, H.J., 1976: Einige Ergebnisse von Untersuchungen zur turbulenten Diffusion mit Driftbojen in küstennahen Gewässern  
Beiträge zur Meereskunde 37 p.105
14. KREMSER, K. und MATTHÄUS, V., 1973: Average vertical coefficients of turbulent heat exchange in the Baltic Sea  
Okeanologija 13 (5)
15. HUBRICH, L.M. und SCHOTT, F., 1975: Austauschuntersuchungen in der Kieler Bucht  
Forschungsbericht Meeresforschung IfM Kiel BMFT-M75-05
16. HORCH, A., 1977: Untersuchungen zur Warmwassereinleitung in Ostsee-Küstengewässer bei geringen Windstärken  
Diplomarbeit, Math.-Nat. Fakultät, Inst.f.Meeresk., Univ.Kiel
17. KOWALIK, Z. und TARANOWSKA, S., 1967: Horizontal large scale turbulence in the Baltic Sea  
Cahiers Oceanographiques 19 (4) p.1

18. MÜNZER, E., 1969 : Das Eindringen des täglichen Temperaturganges in das Meer aus Messungen in der Eckernförder Bucht  
Inaugural-Dissertation, Math.-Nat.Fakultät, Univ. Kiel
- FJELDSTAD, J. E., 1933 : Wärmeleitung im Meere  
Geofys. Publ. 10 (7) p.1
- OKUBO, A., 1968 : A new set of oceanic diffusion diagrams  
Chesapeake Bay Inst., J.Hopkins Univ., Techn. Rep. 38
- PIVOVAROV, A. A., 1954 : Bestimmung des Koeffizienten der turbulenten Temperaturleitfähigkeit in vertikaler Richtung im Meer (russ.)  
Trudy MGI 4 p.94
- RICHARDSON, L.F., 1926 : Atmospheric diffusion shown on a distance neighbour graph  
Proc. Roy. Soc., Ser. A 110 p.709
- STOMMEL, H., 1949 : Horizontal diffusion due to oceanic turbulence  
Journ. Mar. Res. 8 p.199

## Diffusionskoeffizienten - Kommentar

Die in Tabelle 9 aufgeführten verschiedenen horizontalen ( $K_x$ ,  $K_y$ ) und vertikalen ( $K_z$ ) Diffusionskoeffizienten wurden unter wechselnden Umweltbedingungen gewonnen, deshalb ist es sehr schwer, sie in irgendeiner Form zu interpretieren.

Aus der Kieler Bucht liegen nur zwei Messungen vor (Tab. 9), die horizontale Diffusionskoeffizienten der Größenordnung  $10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$  lieferten.

BROSIN (1976) fand mit Driftbojen im flachen Küstenbereich der südlichen Ostsee horizontale Diffusionskoeffizienten der Größenordnung  $10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ , die aber mit wachsendem Küstenabstand zunahmen. Bei Vorhandenseins eines vertikal einheitlichen horizontalen Temperaturgradienten erhielten HUPFER und LASS (1971) einen horizontalen Austauschkoeffizienten von  $10^3 - 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ .

Im Küstenbereich japanischer Gewässer wurden ohne Gezeitenstrom ebenfalls Diffusionskoeffizienten der Größenordnung  $10^3 - 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$  erhalten (WADA, 1972).

Die "klassische" Abhängigkeit der Diffusionskoeffizienten von der Längen- oder Zeitskala in Form des  $4/3$  - Potenzgesetzes wurde bei allen erwähnten Untersuchungen (Tab. 9) kaum gefunden. Bei den horizontalen Koeffizienten traten Schwankungen des Exponenten zwischen 0.46 und 3.0, bei den vertikalen zwischen 0 und 2 auf.

Die vertikalen Koeffizienten sind wesentlich kleiner als die horizontalen; so errechnete HELA (1966) in der inneren Ostsee für 10 m dicke Schichten in der Tiefe der jahreszeitlich bedingten thermischen Sprungschicht einen "vertical eddy diffusion coefficient" von  $1 \text{ cm}^2/\text{sec}$  und einen um 1 - 2 Größenordnungen höheren über und unter der Sprungschicht. KULLENBERG (1976) diskutiert verschiedene aus Farbstoffmessungen bei geschichtetem Wasser stammende vertikale Diffusionskoeffizienten aus dem Kattegat und den Belten. In einer weiteren ausführlichen Arbeit (KULLENBERG, 1974) wird der Zusammenhang zwischen Schichtung, Richardson-Zahl und Mischungskoeffizienten untersucht und zahlreiche Beispiele für Diffusionskoeffizienten bei starker und schwacher Schichtung angeführt.

Eine ausführliche Untersuchung über vertikale turbulente Diffusionskoeffizienten aus Temperaturmessungen (Methode nach Fjeldstad, 1933) liegt für die Eckernförder Bucht von MÜNZER (1969) vor. Er erhielt aus hochauflösenden Temperaturmessungen in Tiefen bis zu 8 m die vertikale Verteilung des turbulenten Austauschkoeffizienten in Abhängigkeit von der Tiefe. Bei verschiedenen Vermischungszuständen und Sprungschichtlagen lassen sich vier Gruppen von Austauschkoeffizienten unterscheiden :

1. bei extrem niedriger Vermischung : der Austauschkoeffizient (ATK) bleibt in den obersten 2-3 m fast konstant mit Werten  $\leq 80 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ;
2. bei geringer Vermischung, die auf eine Deckschicht von 1.5 m beschränkt bleibt : der ATK als Funktion der Tiefe zeigt eine starke Abnahme von  $300 \text{ cm}^2/\text{sec}$  in Oberflächennähe auf  $\leq 30 \text{ cm}^2/\text{sec}$  am Unterrand der Deckschicht;
3. bei Deckschicht mit wellenbedingter Durchmischung : das Profil des ATK zeigt Werte wie in Fall (2), unterhalb der Deckschicht erfolgt ein erneuter Anstieg (auf fast den Oberflächenwert), dann mit zunehmender Tiefe fällt der ATK auf einen sehr kleinen Tiefenwert ab;
4. bei hoher Vermischung bis ca. 5 m : in unterschiedlich starker Schicht bleibt der ATK fast konstant bei hohen Werten ( $300\text{-}400 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ), dann erfolgt Abnahme zur Tiefe hin.

Die Bestimmung des vertikalen turbulenten Austauschkoeffizienten aus Temperaturmessungen kann nur dort erfolgen, wo keine Advektion herrscht. Bei den Untersuchungen von MÜNZER (1969) konnte dies nicht immer ausgeschlossen werden, so daß die Austauschkoeffizienten wahrscheinlich etwas zu hoch liegen. Aus seinen Messungen zieht MÜNZER den Schluß, daß ein Anstieg des ATK unterhalb der Schicht, die durch turbulente Vermischung durch Oberflächenwellen nicht mehr erreicht wird, entweder durch Stromscherung oder durch sehr geringe Stabilität bedingt ist. Außerdem hat er einen Zusammenhang zwischen dem Windfeld und der Vertikalverteilung

der Austauschkoeffizienten beobachtet, indem die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit gegen Tagesmittel der ATK (Schichtdicke 1.5 m) aufgetragen wurden. Es zeigt sich ein Anstieg der ATK ( $0 - 400 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ) bei Zunahme der Windgeschwindigkeiten von 4 auf 10 kn.

Eine bei HELA (1966) erwähnte Methode der Diffusionskoeffizientenbestimmung aus Temperaturmessungen beim Feuerschiff "Bogskär" an der finnischen Küste (SIMOJOKI, 1946) kann zur Abschätzung von Austauschkoeffizienten auch auf die Feuerschiffsmessungen aus der Kieler Bucht angewendet werden. Eine Diskussion verschiedener Methoden und Grundlagen für die Bestimmung mittlerer Wärmeaustauschkoeffizienten liefern KREMSEK und MATTHÄUS (1973 a, b) (vgl. auch Tab. 10).

Tab. 10 : Verschiedene Methoden zur Bestimmung von Diffusionskoeffizienten

Bezeichnung	Erwähnt oder beschrieben bei
aus Temperaturmessungen nach Simojoki (1946)	HELA (1966)
aus Farbstoffmessungen	HUBRICH u. SCHOTT (1975), KULLENBERG (1968, 1971, 1974 a, b, 1976)
mit Driftbojen nach Richardson (1926) und Stommel (1949)	BROSIN (1974, 1976)
nach Okubo (1968)	BROSIN (1972)
"Image-method"	TALBOT und TALBOT (1974)
"Shear-velocity-method"	TALBOT und TALBOT (1974)
nach Fjeldstad (1933)	KREMSEK und MATTHÄUS (1973 a, b)
nach Pivovarov (1954)	KREMSEK und MATTHÄUS (1973 a, b)
nach der Prandtl-Lettau-Theorie	KOWALIK und TARANOWSKA (1967)
nach Fjeldstad (1933)	MÜNZER (1969)

### 3.6. Wärmehaushalt

#### Hauptkomponenten der Wärmebilanz eines Gewässers

Die Wärmehaushaltsgleichung des Meeres nimmt im allgemeinen folgende Form an :

$$(1) \quad Q = Q_S \pm Q_V \pm Q_K \pm Q_T - Q_{EA} - Q_R$$

Dabei bedeuten

$Q$  Gesamtwärmebilanz

$Q_S$  Globalstrahlung

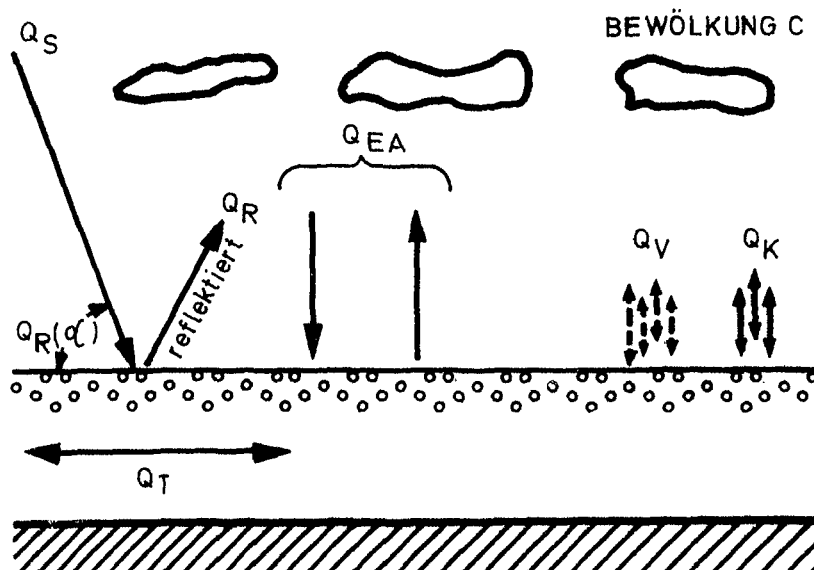
$Q_R$  reflektierter Anteil von  $Q_S$ , abhängig von der Beschaffenheit der Meeresoberfläche und dem Einfallswinkel der Strahlung

$Q_{EA}$  effektive Ausstrahlung (Differenz zwischen den beiden langwelligen Strahlungsströmen der Wärmeabstrahlung des Meeres und der atmosphärischen Gegenstrahlung)

$Q_V$  Wärmebetrag der Verdunstung (oder Konvektion)

$Q_K$  Wärme fluß sensibler Wärme an oder von Atmosphäre

$Q_T$  durch Advektion, Vertikalkonvektion und Vermischung herbeigeführter Wärmegewinn oder -verlust innerhalb des Mediums



Weitere Komponenten der Wärmebilanz wie Wärmegewinn aus chemischen Prozessen und aus der Wind- oder Gezeitenenergie, sowie der Wärmestrom aus dem Erdinnern können vernachlässigt werden, da sie meistens nicht einmal 1% der Globalstrahlung ausmachen.

Im folgenden soll eine Übersicht über die verschiedenen empirischen und halbempirischen Methoden zur Berechnung der Hauptkomponenten gegeben werden. Dabei wird besonders zu berücksichtigen sein, daß das zur Berechnung vorliegende Material auf nur sehr unvollständigen Messungen beruht, wofür prinzipielle meßtechnische Schwierigkeiten verantwortlich zu machen sind.

a) Globalstrahlung  $Q_S$  und Reflexionsanteil  $Q_R$

Die Globalstrahlung  $Q_S$  gelangt teils als direkte Sonnen-, teils als diffuse Himmelsstrahlung ins Meer. Ihre Bestimmung erfolgt entweder durch direkte Messung z.B. mit Thermosäulen oder auf rechnerischem Wege auf der Grundlage von wetterdienstlichen und klimatischen Beobachtungen.

KENNEDY (1949) benutzte

$$(2) \quad Q_S = Q_{SO}/r^2 \sin \alpha_S a_t^m (1 - 0.65 C^2) \quad \begin{array}{l} Q_{SO} \text{ Solarkonstante} \\ \alpha_S \text{ solare Höhe} \end{array}$$

$r$  normalisierter Radius d. Erdbahn

$$\approx 1 + 0.017 \cos \left[ \frac{2\pi}{365} (186 - D) \right] \quad \text{mit } D = \text{laufende Tagesnummer}$$

$a_t$  atmosphärischer Übertragungskoeffizient

$$a_t = 0.91 \quad (\text{KENNEDY, 1949})$$

$$\left. \begin{array}{l} = 0.7 \text{ Juni} \\ = 0.85 \text{ Dez.} \end{array} \right\} (\text{HAMON et al., 1954})$$

$m$  optische Luftmasse

$$m = \frac{1}{\sin \alpha_S + 0.15 (\alpha_S + 3.885)^{-1.253}} \left( \frac{288 - 0.0065}{288} \right)^{5.256} \quad (\text{KASTEN, 1949})$$

Ein Teil des eingestrahnten  $Q_S$  wird an der Wasseroberfläche reflektiert. Diese Reflexion ist nach ZEIDLER (1975) abhängig vom Bewölkungsgrad  $C$  und dem Einstrahlungswinkel  $\alpha$ .

ZEIDLER verwendet für den Reflexionsanteil eine empirische Formel nach ANDERSON

$$(3) \quad Q_R = Q_S A \alpha^B$$

$\alpha$  Einstrahlungswinkel in Grad  
A, B Funktionen der Bewölkung

Bewölkung C	0 klar		0 - 0.5		0.5-0.9		1.0 bedeckt	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Konstanten	1.18	-.77	2.20	-.97	0.95	-.75	0.35	- 1.45

WADA (1967) setzt die Globalstrahlung mit dem reflektierten Anteil zusammen zu

$$(4) \quad Q_S = Q_o (1-\bar{r})$$

$Q_o$  einfallende Strahlung  
 $\bar{r}$  mittlere Albedo im Integrationszeitraum

Ähnlich gehen MAYER und WALK (1973)

$$(5) \quad Q_S = (I+H)(1-a) \left[ \text{mcal/cm}^2 \text{min} \right]$$

I, H Globalstrahlung v. Sonne und Himmel  
a kurzwelliger reflekt. Anteil

und LAWA (1971) vor :

$$(6) \quad Q_S = I+H-R \left[ \text{cal/cm}^2 \text{Zeit} \right]$$

I, H wie (5)  
R Reflexion, abhängig vom Einfallswinkel

R für Wärmestrahlung

senkrecht einfallende Strahlung wird zu 2%

unter  $45^\circ$  " " " zu 5%

unter  $80^\circ$  " " " zu 40% reflektiert, für

den sichtbaren Bereich ist das Reflexionsvermögen etwas höher, aber mit gleicher Winkelabhängigkeit.

FLINSPACH u. FLEIG (1972) berücksichtigen bei gleicher Formel wie (6)

(7)  $Q_S = I+H-R$  die Reflexion pauschal durch Verwendung von nur 85% von  $Q_S$ .



NEUMAN und ROSENAN (1954) ziehen neben der Reflexion als mindernden Faktor auch die Bewölkung C in Betracht und rechnen mit

$$(8) \quad Q_S = Q_o (1 - 0.071 C) - Q_o r$$

r refl. Anteil  
 $Q_o$  Einstrahlung bei wolkenlosem Himmel  
 C Bewölkung in 1/10 Bedeckung.

Ähnlich setzt RICHTER (1975) seine Formel mit Berücksichtigung der Sonnenscheindauer an :

$$(9) \quad Q_S = a Q_o (0.21 + 0.61 \frac{h}{h_o})$$

$Q_o$  Strahlung bei transparenter Atmosphäre  
 $\frac{h}{h_o}$  rel. Sonnenscheindauer

die Reflexion a wird zu 10% der ankommenden Strahlung berücksichtigt :  $a=0.90$ .

Eine gründliche Diskussion der Berechnung der Globalstrahlung  $Q_S$  findet sich bei STURM (1963).

Er legt die Schwierigkeiten der empirischen Berechnung auf der Grundlage hydrometeorologischer Beobachtungen ausführlich dar. Die Reduzierung der Berechnungsformeln der Globalstrahlung auf eine Funktion des mittleren Bedeckungsgrades scheint wegen mangelnder Beobachtungen von atmosphärischer Trübung und Sonnenscheindauer notwendig. Nach STURM birgt aber allein die Annahme einer mittleren Bewölkung zahlreiche Fehlerquellen, wobei schon die Wahl des Mittelungszeitraumes eine ausschlaggebende Rolle spielt. Nach SYDOW (1943) wäre eine Dekade, nach MATZKE (1953) ein Monat der geeignete Zeitraum.

Auf ANGSTRÖM (1923), der zu Beginn der zwanziger Jahre grundlegende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und mittlerem Bedeckungsgrad/Sonnenscheindauer durchführte, geht folgende Formel zur Berechnung der Globalstrahlung auf der Grundlage klimatologischer Daten zurück :

$$(10) \quad Q_S = Q_{SO} (1 - \beta C)$$

$Q_{SO}$  Einstrahlung b. wolkenl. Himmel

$$Q_{SO} = 0.0273 \bar{\alpha} \quad (\text{MOSBY, 1936}) \quad \bar{\alpha} \text{ solare Höhe}$$

$$\beta = \left( \frac{1-a}{10} \right) \quad a = \frac{\text{Globalstrahlung b.bedecktem Himmel}}{\text{Globalstrahlung b.wolkenlosem Himmel}}$$

ANGSTRÖM (1923)	a = 0.23	(Stockholm)
KIMBALL (1928)	a = 0.29	(Washington)
MOSBY (1932)	a = 0.54	(Arktis)
LUNELUND (1933)	a = 0.23	(Helsinki)
BERG (1949)	a = 0.20	(Bochum)
MATZKE (1953)	a = 0.21	(Greifswald).

Da nach heutigen Kenntnissen die Angström'sche Formel aufgrund der Annahme eines linearen Zusammenhanges zwischen Globalstrahlung und mittlerer Sonnenscheindauer/Bedeckungsgrad zu niedrige Werte liefert, scheint eine neuere Formel nach MATZKE (1953) die Verhältnisse besser zu charakterisieren (STURM, 1963). MATZKE nähert die Beziehung Globalstrahlung/Bedeckungsgrad durch eine Funktion höheren Grades an und erhält

$$(11a) \quad Q_S = Q_{SO} (0.209 + 0.068 S^{0.532}) \quad \begin{array}{l} S \text{ relative Sonnen-} \\ \text{scheindauer} \\ 0 \leq S \leq 100 \end{array}$$

bzw. bei Verwendung eines mittleren Bedeckungsgrades C :

$$(11b) \quad Q_S = Q_{SO} (0.21 + 0.68 \sqrt{1 - 0.1 C}) \quad 4 \leq C \leq 10$$

Eine weitere Formel zur Berechnung der Globalstrahlung findet man bei ALBRECHT (1955). Sie geht auf den Angström-Typ zurück und hat die Form

$$(12) \quad Q_S = Q_{SO} (1 - (1 - \beta) C).$$

Der Bewölkungskoeffizient  $\beta$  ist darstellbar als Funktion des Verhältnisses 
$$\frac{\text{Bedeckungsgrad d.Gesamtbewölkung in } 1/10 C_T}{\text{Bedeckungsgrad d.tiefen Wolken in } 1/10 C_L}$$

und der mittleren Mittagshöhe der Sonne  $\xi_n$  :

$$\beta = f\left(\frac{C_T}{C_L}\right) \varphi(\xi_n)$$

$$f\left(\frac{C_T}{C_L}\right) = 0.615 + 0.157 \frac{C_T}{C_L}$$

$$\varphi(\xi_n) = 0.50 + 0.14 \tan\left(\frac{\xi_n - 34.5^\circ}{17^\circ}\right)$$

Beim Vergleich mit sowjetischen Meßreihen ergab sich im Sommer eine gute Übereinstimmung, während im Winter eine systematische negative Abweichung besteht (STURM, 1963). Auch LAEVASTU (1960) entwickelte eine Formel zur Berechnung der Globalstrahlung aus klimatologischen Daten auf der Grundlage der Angström'schen Beziehung :

$$(13) \quad Q_S = Q_{S0} (1 - 0.0006 C^3) \\ = 0.014 \xi_n t_d (1 - 0.0006 C^3) \quad \text{für } \xi_n \leq 75^\circ$$

$$\text{bei } \xi_n > 75^\circ \Rightarrow Q_S \approx \text{const.}$$

C Bewölkungsgrad  
hier:  $6 \leq C \leq 10$   
 $t_d$  Tageslänge (min.)  
Sonnenauf-bis -untergang

Diese Formel ist jedoch noch nicht durch Meßreihen überprüft worden (STURM, 1963).

Aus der sowjetischen Literatur existiert eine Beziehung, die nach SAVINOV u. EVFINOV (zitiert bei MAKEROV (1961); BORTKOVSKIJ (1961)) und SAMOJLENKO (1959) folgende Form annimmt :

$$(14) \quad Q_S = Q_{S0} \left(1 - \left(0.037 + 0.039 \frac{C_L}{C}\right) C\right)$$

$C_L$  Bedeckungsgrad d. tiefen Wolken in ganzen Zehnteln  
 $C$  Bedeckungsgrad d. Gesamtbew.  $0 \leq C \leq 10$

Zur Bestimmung von  $Q_{S0}$  können Strahlungstabellen verwendet werden (AVERKIEV, 1958 mit Monatsmittelkarten).

Nach STURM (1963) können bei Verwendung von klimatologischen Daten nur Globalstrahlungssummen über einen mehr oder weniger langen Zeitraum (Tag - Monat) berechnet werden.

Bei der Berücksichtigung des Reflexionsanteils herrscht bei den einzelnen Autoren Uneinigkeit. Er wird entweder in die Globalstrahlungsformel direkt miteinbezogen (WADA, 1967; MAYER u. WALK, 1973; NEUMANN u. ROSENAN, 1954; RICHTER, 1975) oder gesondert berechnet/abgeschätzt wie bei ZEIDLER (1975), FLINSPACH u. FLEIG (1972), LAWA (1971) und den von STURM (1963) zitierten Autoren (ANGSTRÖM, 1923; MATZKE 1953; ALBRECHT 1955; LAEVASTU 1960; SAVINOV u. EVFINOV : zitiert bei MAKEROV, 1961; BORTHKOVSIIJ, 1961).

Für die getrennte Betrachtung der an der Wasseroberfläche reflektierten Strahlung bietet sich nach ZEIDLER (1975) die Formel (3) an oder nach STURM (1963) eine von LAEVASTU (1960) entwickelte Beziehung (vgl. (15)).

Aus den Literaturstudien von STURM (1963) ist ersichtlich, daß die meisten Verfasser keine gesonderte Berechnung des Reflexionsanteils vornehmen, sondern sich mit einer pauschalen Festlegung des Anteils je nach Jahreszeit und geographischer Breite begnügen (auch: NEUMANN u. ROSENAN, 1954; WADA, 1967; LAWA, 1971; FLINSPACH u. FLEIG, 1972; MAYER u. WALK 1973). Ferner gilt bei SCHMIDT (1915, zitiert bei SVERDRUP, 1945) :

10°	Sonnenhöhe	35%	Reflexionsanteil	i.d. Strahlung
90°	"	2%	"	i.d. "
40°		5%	"	i.d. "
	diffuse Streustrahlung	17%	"	i.d. " .

POVELL u. CLARKE (1936) verwenden die gleichen Werte wie SCHMIDT (1915), bei diffuser Streustrahlung jedoch berechnen sie nur 8% Albedo. Bei JACOBS (1942, 1951) findet man :

Äquator	3.3% Albedo
Pol	8.0% Albedo.

MASUZAWA (1952) erhielt im nördl. Pazifik 6.0% Albedo; NEUMANN u. ROSENAN (1954) unterscheiden nach Jahreszeiten und verwenden folgende Werte:

März-Sept. Schw. Meer	6.0% Albedo
Okt.-Feb. "	8-10% Albedo; SIMOJOKI et al. (1949):
Mai - Sept. Ostsee	7.0% Albedo
Okt.-April "	10 % Albedo.

SHULEJKIN et al. (1958) geben die Reflexion in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe an :

Sonnenhöhe	= 5°	40% Albedo
	= 10°	25% "
	= 20°	12% "
	= 40°	4% "
	= 50°	3% "

Diese Werte stehen in ungefährem Einklang mit den von LAWA (1971) angegebenen (vgl. (6)).

LAEVASTU (1960) setzt den Reflexionsanteil der Globalstrahlung zur gemessenen Globalstrahlungssumme selbst in Beziehung und erhält folgende empirische Formel :

$$(15) \quad Q_R = 0.15 Q_S - (0.01 Q_S)^2.$$

Damit werden für das Winterhalbjahr ähnliche Albedowerte wie oben erzeugt, im Sommer dagegen scheinen die Werte etwas zu hoch zu liegen (STURM, 1963).

Nach STURM (1963) muß die jahreszeitliche Änderung der Albedo für klimatologische Berechnungen des Wärmehaushaltes nicht, die ausgeprägte Breitenabhängigkeit aber durchaus beachtet werden.

Wenn jetzt die Entscheidung über die am besten für Ostsee-verhältnisse geeignete Formel zu Bestimmung der Globalstrahlung aus der Vielzahl der vorgestellten getroffen werden soll, so ist derjenigen von ALBRECHT ( 12 ) aus folgenden Gründen der Vorzug zu geben :

1. STURM verwendet sie für Wärmehaushaltsbetrachtungen beim Feuerschiff "Fehmarnbelt" , also für die Ostsee (STURM, 1968, 1970).
2. Diese Formel kommt mit einem Mindestbedarf an Beobachtungsparametern aus (mittlere Mittagshöhe der Sonne, Verhältnis des Bedeckungsgrades der Gesamtbewölkung zum Bedeckungsgrad der tiefen Wolken).

Wenn allerdings Messungen der Sonnenscheindauer vorliegen,

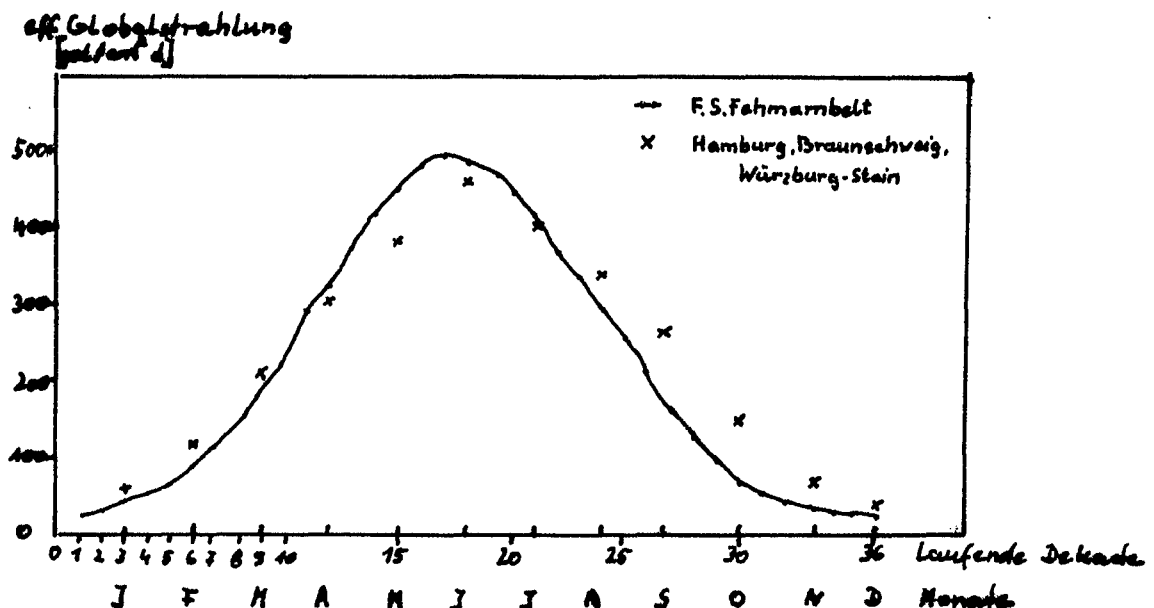
empfiehlt sich die Verwendung der Beziehung von MATZKE  
( 11 a,b ).

Für das Feuerschiff "Fehmarnbelt" liegen seit 1953 die  
geforderten meteorologischen Beobachtungen des Bewölkungs-  
zustandes und der mittleren Sonnenscheindauer vor (DWD-Seewet-  
teramt:Met.Beob.a.dt. Feuerschiffen ). Ferner existieren  
für die Sonnenscheindauer aus langjährigen Mitteln Über-  
sichtskarten und Jahresreihen für die Orte Kiel und Trave-  
münde (Tab. 11).

Außerdem liegt ein Vergleich zwischen mit der Formel (12)  
berechneten Dekadensummen der Globalstrahlung vom Feuerschiff  
"Fehmarnbelt" (1947-61) und gemittelten Monatssummen (1961-  
65) von den Stationen Hamburg, Braunschweig und Würzburg-Stein  
vor (Abb. 18). Die geringe Differenz der Kurven läßt den  
Schluß zu, daß die mit Daten vom F.S."Fehmarnbelt" berechne-  
ten Globalstrahlungswerte evtl. für die gesamte Kieler Bucht  
gültig sind; jedoch muß diese Behauptung erst noch überprüft  
werden.

Im Idealfall erhält man die Gesamtstrahlungsbilanz und die  
Globalstrahlungsbilanz durch direkte Messung und kann damit  
zugleich als Differenz die Wärmestrahlungsbilanz bestim-  
men.

Abb. 18 : Vergleich zwischen Dekadensummen der eff.Global-  
strahlung vom F.S."Fehmarnbelt" (1947-61) und  
gemittelten Monatssummen von den Stationen Hamburg,  
Braunschweig und Würzburg - Stein (1961- 65)



Tab. 11 : Wärmehaushaltskomponenten - vorhandene Daten

# Wärmehaushaltskomponenten - vorhandene Daten

Ort	Meßzeitraum	Art d. Messung	gemessen	berechnet	Art d. Darstellung	Bemerkungen
1. Meßmast IfM Kiel	4 - 10/1976	Global- strahlung	x		Registrierung auf Datenträger	Daten noch nicht ver- fügbar zum Vergleich mit Meßmast
2. IfM Kiel-Dach	4-10/1976	Strahlung	x		Tabelle, Kurve	mittl. dekadenzbezogene Tages- summen (cal/cm <sup>2</sup> Tag)
3. F.S. Fehmarnbelt	1947-61	eff. Global- strahlung		x		
	1947-61	eff. Ausstrahlg.		x	Tabelle, Kurve	"
	1947-61	Strahlungsumsatz		x	Tabelle, Kurve	"
	1947-61	Verdunstung		x	Tabelle	"
	1947-61	Konvektion		x	Tabelle	"
	1947-61	Wärmebilanz d. Meeresoberfl.		x	Tabelle	"
4. Eckernf. Bucht Südseite	20.3.-28.6. 1968	Strahlung, gesamt u. langwellig	x		Registrierung	mit Thermosäulen gemessen
5. Hbg.-Fuhlsbüttel	Juli 1973 Sept. 1961 Feb. 1972	Globalstrahlung Globalstrahlung Globalstrahlung	x x x		Kurve Kurve Kurve	Tagesverlauf Tagesverlauf Tagesverlauf
6. Schlesw.-Holst.	1934-36	mittl. tgl. Sonnen-x scheindauer	x		Übersichtskarte pro Monat	Sonnenscheindauer in Std.
7. Kiel	1891-1930	"	x		Kurve, Tabelle	"
8. Travemünde	1928-37 1928-37	jährl. Sonnen- scheindauer mittl. tgl. Sonnen- scheindauer	x x x		Kurve Kurve, Tabelle	"
9. Lübeck-Tr'münde	Juli 1928- Jan. 1937	Sonnenscheindauer, Tageslichtsumme, UV-Strahlung	x		Registrierung d. Jahresgang	nicht mit anderen Meßfrei- hen vergleichbar, da Rela- tivwerte
10. Hamburg, Würzburg- Stein	1961-65 16.12.57	Globalstrahlg.	x		Kurve	gemittelte Tagessummen
11. Hamburg	20.6.59	Globalstrahlg.	x		Kurve	Tagessgang



Literaturverzeichnis : Wärmehaushaltskomponenten

1. } Mdl. Mitteilung, Abt. Meteorologie IfM Kiel, Daten
2. } unveröffentlicht
3. STURM, M., 1970: Zum Wärmehaushalt der Ostsee im Bereich der der südlichen Beltsee (Fehmarnbelt)  
Beiträge z. Meereskunde 27 p.47
4. MÜNZER, E., 1970: Die Temperaturschichtung in der Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforschungen 26 p.43
5. Wärmelastplan Weser, 1974, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Weser
6. } Bioklimatischer Atlas für Schleswig-Holstein
7. } Forschungsstelle für Landwirtschaftsplanung und Land-
8. } schaftsgestaltung, Lübeck 1940
9. }
10. p.44 in } LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 1971:
11. p.45 in } Grundlagen für die Beurteilung der Wärme-  
belastungen von Gewässern  
Wiesbaden, Druckwerkstätten Kochler und Hennemann

b) Effektive Ausstrahlung  $Q_{EA}$

Die effektive Ausstrahlung  $Q_{EA}$  stellt als Differenzbetrag zwischen den beiden langwelligen Strahlungsströmen von Ausstrahlung der Meeresoberfläche und der Gegenstrahlung der Atmosphäre einen wichtigen Beitrag zum Wärmehaushalt dar.

Die Meeresoberfläche kann angenähert als "schwarzer Strahler" angesehen werden : in allen Formeln findet sich das Stefan-Boltzmann'sche Strahlungsgesetz.

Die beiden Komponenten der effektiven Ausstrahlung - atmosphärische Gegenstrahlung  $Q_A$  und Ausstrahlung der Meeresoberfläche - werden bei LAWA (1971), FLINSPACH und FLEIG (1972) und MAYER u. WALK (1973) getrennt betrachtet. Bei ihnen wird die Ausstrahlung der Meeresoberfläche  $Q_E$  durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben:

$$(1) \quad Q_E = \epsilon \sigma T_w^4, \quad \begin{array}{l} \sigma \text{ Stefan-Boltzmann-Konstante} \\ \epsilon \text{ Emissionsvermögen} \end{array}$$

während die Formel für die atmosphärische Gegenstrahlung auf eine von ANGSTRÖM (1916, 1920) mitgeteilte Beziehung der Form

$$(2) \quad Q_A = \sigma T^4 (a - b \cdot 10^{-c e_0}) \quad \text{zurückgeht.}$$

LAWA (1971) :

$$(3a) \quad Q_A = \sigma T^4 (0.848 - 0.294 \cdot 10^{-0.03 x g}) \quad (\text{nach Angström})$$

$$(3b) \quad Q_A = \sigma T^4 (0.543 + 0.05 \sqrt{x g}) \quad (\text{nach Brunt})$$

$g$  Wasserdampfdichte in g Wasser/m<sup>3</sup>

Falls der Wasserdampfgehalt als Dampfdruck in mmHg angegeben ist :

$$g \text{ (g/m}^3\text{)} = K(t) e \text{ (mmHg)}$$

Grad C	0°	15°	30°
$K(t)$	1.057	1.0	0.953

Der Faktor  $x$  stellt eine Angabe über den vertikalen Verlauf der Wasserdampfdichte dar und nimmt Werte zwischen 1.1 und 3.6 an. Die effektive Ausstrahlung erhält die Dimension cal/cm<sup>2</sup>h an, wenn die Stefan-Boltzmann-Konstante  $\sigma$  in cal/cm<sup>2</sup>hK<sup>4</sup> gegeben wird.

Die Berücksichtigung des Bewölkungseffektes erfolgt durch

$$Q_A = Q_{A0}(1+k_1 \cdot W) \quad (\text{nach Philipps})$$

$$Q_A = Q_{A0}(1+k_2 \cdot W^{2.5}) \quad (\text{nach Boltz und Fritz})$$

W Bewölkungsgrad

$k_1, k_2$  Parameter der Wolkenart

Wolken- höhe	1.5	3	5	8km	Wolken- art	ci	cs	ac	as	cu	st
$k_1$	0.87	0.74	0.62	0.45	$k_2$	.04	.08	0.17	0.2	0.2	0.24

Bei FLINSPACH und FLEIG (1972) nehmen die Konstanten a-c in (2) die Werte

$$a = 0.19$$

$$b = 0.24$$

$$c = 0.069$$

an, der Dampfdruck ist in mm Quecksilber angegeben. MAYER und WALK (1973) berechnen die effektive Ausstrahlung mit den von BOLTZ und FALKENBERG (1949) gefundenen Konstanten

$$a = 0.181$$

$$b = 0.25$$

$$c = 0.126 ,$$

schätzen ein Emissionsvermögen von  $\varepsilon = 0.97$  und geben

$$Q_{EA} = Q_E - Q_A \text{ in mcal/cm}^2 \text{ min } (\sigma = 8.26 \cdot 10^{-8} \text{ mcal/cm}^2 \text{ min}^\circ \text{K}).$$

Nach NEUMANN und ROSENAN (1954) ist die effektive Ausstrahlung

$$(4) \quad Q_{EA} = 0.97(T_w^4 - Q_A)$$

$T_w$  Wassertemperatur  
in Grad K

$Q_A$  atmosph. Gegen-  
strahlung

Bei WADA (1967) findet man für  $Q_{EA}$  :

$$(5) \quad Q_{EA} = 0.97 \sigma T_w^4 (1-a-b \sqrt{e(T_w)}) (1-K \cdot n)$$

a, b Konstanten

e(T) Sättigungs-  
dampfdruck a.d.  
Seeoberfl. i. mb

K Koeffizient der Wolkenhöhe (1.5-2 km  $\Rightarrow$  K=0.083)

n Bewölkungsgrad in 1/10 :  $0 \leq n \leq 1$ .

RICHTER (1975) führte Untersuchungen an mehreren Talsperren in der DDR durch und stellte für flache Gewässer eine Formel auf, in der die beiden langwelligen Strahlungsströme kombiniert vorkommen :

$$(6) \quad Q_{EA} = 0.906 T_w^4 (0.21 + 0.174 \cdot 10^{-0.055} e_2) (1 - 0.765 \bar{w})$$

$e_2$  Dampfdruck in  
mmHg  
 $T_w$  Wassertemp. in °K  
 $\bar{w}$  Bewölkung,  $0 \leq \bar{w} \leq 1$

während er für tiefe Gewässer die getrennte Berechnung der Strahlungsströme empfiehlt.

Sehr ausführlich diskutiert STURM (1963) die rechnerische Bestimmung der effektiven Ausstrahlung. Er gibt für die Konstanten a-c der Angström'schen Gegenstrahlungsformel (2)

1. die von ANGSTRÖM (1920) selbst mitgeteilten Werte

$$a = 0.255$$

$$b = 0.322$$

$$c = 0.069$$

2. die von MÖLLER (1953) korrigierten Werte

$$a = 0.21$$

$$b = 0.174$$

$$c = 0.055$$

an (vgl. (6)).

Da diese Konstanten von kontinentalen Meßreihen stammen, dürfen sie nach STURM nur unter großen Vorbehalten für ozeanische Verhältnisse angewendet werden. Überlegungen dieser Art bewogen POPOV und RJAZANOV (1961) die Angström-Formel nach eigenen Beobachtungen zu modifizieren :

$$(7) \quad Q_{EA} = \sigma T^4 (0.0674 + 2.266 \cdot 10^{-0.084} e_o).$$

Ebenfalls aufgrund eigener Messungen erhielten BOLZ und FALKENBERG (1949) die Konstanten

$$(8) \quad Q_{EA} = \sigma T^4 (0.18 + 0.25 \cdot 10^{-0.095} e_o) \quad e_o \text{ Dampfdruck in mb.}$$

Da ihre Messungen an der Ostseeküste stattfanden, dürften sie in Grenzen auch für Verhältnisse über dem Meer gelten. ALBRECHT (1958) erstellte für Wärmehaushaltsuntersuchungen des Indischen Ozeans die Beziehung

$$(9) \quad Q_{EA} = \sigma T^4 (0.194 + 0.235 \cdot 10^{-0.069} e_o) \quad e_o \text{ in mb.}$$

Der Tatsache, daß die Meeresoberfläche kein idealer "schwarzer Strahler" (grauer Strahler) ist, tragen die meisten Autoren dadurch Rechnung, daß sie ein vermindertes Emissionsvermögen von 0.90 - 0.97 annehmen (NEUMANN und ROSENAN, 1954; WADA, 1967; LAWA, 1971; FLINSPACH und FLEIG, 1972; MAYER und WALK, 1973; RICHTER, 1975).

Die Bestimmung der effektiven Ausstrahlung durch nicht zur Gruppe der klassisch Angström'schen gehörenden Formeln wird bei STURM (1963) ausführlich diskutiert. BRUNT (1932) z.B. gibt folgende Beziehung an :

$$(10) \quad Q_{EA} = \sigma T^4 (0.44 - 0.8 \sqrt{e_2}) \quad (\text{vgl. (2), (5b)})$$

0.8 : n.LAEVASTU  
(1960)

Seine Werte liegen unter den Daten der Angström'schen Formel, aber über (bis 12%) denen von BOLZ und FALKENBERG (1949). Von LÖNNQUIST (1954) liegt eine empirische Bestimmung der effektiven Ausstrahlung vor, in der  $Q_{EA}$  in lineare Beziehung zur Wasseroberflächentemperatur und zur relativen Feuchte der wassernahen Luftschicht gesetzt wird (nach LAEVASTU, 1960):

$$(11) \quad Q_{EA} = 16.2 - 0.09T_w - 0.046U_o + 0.12\gamma_m - 1.3H_u \quad [\text{mW/cm}^2]$$

$U_o$  rel. Feuchte in %  
 $\gamma_m$  mittl. troposph.  $\Delta T$   
 $H_u$  Feuchtefaktor.

Die hiermit berechneten Werte liegen beträchtlich über denen von BOLZ und FALKENBERG. (vgl. (8)).

Die ursprünglich von ANGSTRÖM angegebene Formel war für wolkenlosen Himmel abgeleitet, so daß der für die atmosphärische Gegenstrahlung  $Q_A$  stark wirksame Bewölkungseffekt in anderer Weise berücksichtigt werden muß. Die nur durch subjektive Beobachtung mögliche Bestimmung des Bewölkungsgrades erschwert die Vereinheitlichung beträchtlich. MOSBY (1936) empfiehlt eine Berücksichtigung des Bewölkungseffektes durch den Faktor

$$(1 - 0.083 \cdot C) \quad (\text{vgl. (5)})$$

C Bewölkungsgrad  
in ganzen Zahlen  
 $0 \leq C \leq 10$

MÖLLER (1953) wählt  $(1-0.0765 \cdot C)$  (vgl. (6)) und  
 ALBRECHT (1958)  $(1-0.0756C)$  Die Konstante C ist  
 jeweils der Bedeckungsgrad in ganzen Zahlen zwischen 0 und 10.  
 Aus sporadischen Untersuchungen über die Änderung der effek-  
 tiven Ausstrahlung in Abhängigkeit von der Bewölkung, kom-  
 men SVERDRUP et al. (1942) zu folgenden Annahmen:

$Q_{EA}$  bei 10/10 ci ist 25% der  $Q_{EA}$  bei wolkenlosem Himmel,  
 " " 10/10 as " 60% " " " " "  
 " " 10/10 sc " 90% " " " " "

SHULEJKIN (1959) berücksichtigt den Bewölkungseffekt aus-  
 führlicher durch einen Faktor  $(1-m_H C_H - m_M C_M - m_L C_L)$ , wobei  
 $C_H, C_M, C_L$  hohe, mittlere und niedrige Wolken in 1/10 Bedeckung  
 sind und

ci :  $m_H = 0.010 - 0.020$   
 cc, cs :  $m_H = 0.020 - 0.030$   
 ac :  $m_M = 0.050 - 0.060$   
 as :  $m_M = 0.060 - 0.075$   
 sc :  $m_L = 0.060 - 0.075$   
 cu :  $m_L = 0.075 - 0.085$   
 ns :  $m_L = 0.088 - 0.095$ .

Eine ähnlich ausführliche Angabe über den Bewölkungsterm  
 und in etwa gleiche Werte finden sich bei POPOV und  
 RJAZANOV (1961). BOLZ (1949) erstellt eine nichtlineare Be-  
 ziehung für den Einfluß der Bewölkung auf die atmosphä-  
 rische Gegenstrahlung  $Q_A$  in der Form

$$(12) \quad Q_A = Q_{Ao} (1 + K_2 \cdot C_K^{2.5}) \quad (\text{vgl. LAWA, 1971})$$

$K_2 = 0.22$   
 $C_K = \text{Bewölkung}$   
 in 1/10

während MAKEROV (1961) eine nur quadratische Abhängigkeit  
 angibt :  $Q_{EA} = Q_{EAo} (1 - K_1 \cdot C^2)$ .  $K_1$  Koeffizient  
 (13) C wie oben

Da die Bewölkungsmessung in den Routinebeobachtungen z.Zt. noch keine detaillierten Werte liefert, kann für die Berechnung der effektiven Ausstrahlung nur die Formel von BOLZ und FALKENBERG (8) mit dem von BOLZ ( 12 ) mitgeteilten Bewölkungsterm für Wärmehaushaltsbetrachtungen im unmittelbaren Küstenbereich und evtl. auch auf See empfohlen werden (STURM, 1963). STURM selbst benutzt (8) für eine Abschätzung des Wärmehaushaltes im Gebiet des Feuerschiffes "Fehmarnbelt" (STURM, 1968).

Es empfiehlt sich ebenfalls, das verminderte Emissionsvermögen durch den Faktor  $\epsilon = 0.97$  zu berücksichtigen, um der nicht-idealen Meeresoberfläche ("schwarzer Strahler") Rechnung zu tragen.

c) Latenter Wärmestrom  $Q_V$

Der latente Wärmestrom ( Verdunstung oder Konvektion) spielt die wichtigste Rolle bei Wärmehaushaltsbetrachtungen. Die Bemühungen um seine Bestimmung auf experimentellem oder rechnerischem Wege finden ihren Niederschlag in der Vielzahl der Literaturstellen schon seit Mitte des vorigen Jahrhunderts. Eine genaue Übersicht zu geben, oder gar die beste Methode zu finden, fällt demgemäß schwer. Die experimentelle Verdunstungsmessung mit Verdunstungspfannen etc. bietet jedoch zu große Schwierigkeiten und Fehlerquellen, als daß sie hier empfohlen werden kann.

Für die rechnerische Bestimmung aus klimatologischen Beobachtungen oder relativ einfach zu messenden meteorologischen Größen bieten sich zwei Möglichkeiten an (DIETRICH, 1957):

1. die Berechnung der Verdunstung aus dem Wärmehaushalt und dem Bowen-Verhältnis (vgl. d (1)  $Q_K$ )
2. die Berechnung der Verdunstung aus dem vertikalen Wasserdampftransport.

Die erste Methode eignet sich nur für großräumige klimatologische Betrachtungen (vgl. ALBRECHT, 1951), während die zweite Methode heute mit Abwandlungen für die lokale Verdunstungsbestimmung am meisten in Gebrauch ist.

STURM (1963) gibt eine detaillierte Übersicht über die verschiedenen Ansätze. Die meisten Autoren berücksichtigen die Dampfdruckdifferenz Wasser-Luft, die Windgeschwindigkeit in Meßhöhe über dem Meeresniveau, die Rauigkeitshöhe der Meeresoberfläche und die Dicke der laminaren Grenzschicht (SVERDRUP, 1936; MONTGOMERY, 1940; JACOBS, 1951; OKUDA und HAYAMI, 1959).

Aber insbesondere die Bestimmung der Reibungs- und Verdunstungskoeffizienten bereitet Schwierigkeiten, wie die Vielzahl der existierenden Werte erkennen läßt (DIETRICH, 1957; EKMAN, 1923; MILLAR, 1937; MONTGOMERY, 1940; MUNCH, 1947; PALMEN und LAURILA, 1938; ROSSBY, 1936).



Einfacher in der Anwendung ist eine aufgrund mehrerer Vernachlässigungen aus der Sverdrup'schen Verdunstungsformel

$$(1) \quad V = \frac{c(e_w - e_z) v_z}{d(\log \frac{z+z_0}{z_0})^2 + z v_z}$$

c, d Konstanten  
 $z_0$  Rauigkeitshöhe d. Oberfl. in cm  
 $z$  lamin. Grenzschicht

und der von MONTGOMERY (1940) entstandene Beziehung der Form

$$V = K_z (e_w - e_z) v_z$$

$v_z$  Windgeschw. in Meßhöhe (m/sec)  
 $e_w$  Sättigungsdampfdruck des Wassers  
 $e_z$  Dampfdruck in Meßhöhe  $z$  in mb oder mmHg  
 $K_z$  Verdunstungsfaktor

Der Verdunstungsfaktor  $K_z$  ist nur bedingt als Konstante anzusehen, er wird in den meisten Formeln jedoch als solche betrachtet.

JACOBS (1951) unterscheidet zwischen glatter (Windgeschwindigkeit unter 650 cm/sec) und rauher Meeresoberfläche (Windgeschwindigkeit über 650 cm/sec), und gibt die Verdunstung zu

$$(2a) \quad V = 0.067 (e_w - e_z) v_z \quad [\text{mm/d}] \quad \begin{array}{l} e \text{ in mb, } 6 \text{ m Meßhöhe} \\ v_z < 650 \text{ cm/sec} \end{array}$$

$$(2b) \quad V = 0.235 (e_w - e_z) v_z \quad [\text{mm/d}] \quad \begin{array}{l} v_z > 650 \text{ cm/sec,} \end{array}$$

bzw. für einen mittleren Verdunstungsfaktor  $K_z = 6 \cdot 10^{-6}$  und  $v_z$  in m/sec

$$V = 0.142 (e_w - e_z) v_z \quad [\text{mm/d}] \quad \text{an.}$$

Andere Autoren bestimmen  $K_z$  zu :

- |      |                              |               |  |
|------|------------------------------|---------------|--|
| (2c) | WÜST, 1920                   | $K_z = 0.45$  | $e$ in mb, $v_z$ in m/sec<br>$V$ in mm/d |
| (2d) | THIESENHUSEN<br>1930         | $K_z = 0.53$  |  |
| (2e) | LAKE HEFNER<br>STUDIES, 1965 | $K_z = 0.088$ | in 7.3 m                                 |
| (2f) | LAKE COLORADO<br>CITY, 1965  | $K_z = 0.129$ | in 7.3 m                                 |
| (2g) | SHULEJKIN, 1932<br>1958      | $K_z = 0.100$ | in 6.0 m                                 |
| (2h) | SVERDRUP, 1945               | $K_z = 0.099$ | in 6.0 m                                 |

- (2i) SAMOJLENKO, 1952  $K_z=0.105$  in 6.0 m  
 (n.Prusenk, 1962)  
 (2k) SIMOJOKI, 1949  $K_z=0.110$  in 6.0 m  
 (2l) MASUZAWA, 1952  $K_z=0.093$  in 6.0 m  
 (2m) PRIVETT, 1960  $K_z=0.114$  in 6.0 m

STURM (1963) diskutiert weitere auf der Grundlage der Theorie des vertikalen Wasserdampftransportes entwickelte Verdunstungsformeln der Form

$$(3) \quad \text{DEVIK, 1932} \quad V = 72.5 \frac{T}{p} \sqrt{v_z + 0.3} (e_w - e_z) [\text{cal/cm}^2 \text{d}]$$

$e$  in mb  
 $p$  Luftdruck  $T$  abs.Temp

HELA (1951) verwendete diese Formel zur Verdunstungsberechnung in der Ostsee.

Ähnliche Annahmen finden sich auch bei

- (4) ANGSTRÖM, 1916 (nach WAGNER, 1931)  

$$V = 3.4 \cdot 10^{-3} \sqrt{v_z + 0.3} (e_w - e_z) [\text{g/cm}^2 \text{d}]$$

$e$  in mmHg  
 Meßhöhe 1 cm
- (5) WAGNER, 1931  $V = 1.04 \cdot 10^{-3} \sqrt{v_z + 0.3} (e_w - e_z) [\text{g/cm}^2 \text{h}]$   

$e$  in mmHg
- (6) BROCKAMP und WENNER, 1963  $V = 0.407 v_z^{0.458} (e_w - e_z) [\text{mm/d}], v_z \leq 4 \text{ m/sec}$   

$e$  in mb

Des weiteren diskutiert STURM eine Gruppe hauptsächlich empirisch gewonnener Verdunstungsformeln :

$$V = (a + b v_z^c) (k \cdot e_w - e_z) [\text{mm/d}] \quad v_z \text{ in m/sec}$$

$e$  in mb  
 $a, b, c$  Konstanten.

Bis auf die Beziehungen der Autoren

- (6) BROCKAMP und WENNER, 1963  
 (7) RICHTER, 1975  $V = (0.13 + 0.101 v_z^{0.75}) (e_w - e_z)$   
 (Stechlinsee, DDR)  
 (8) BRADY et al., 1969  $V = (0.24 + 0.12 v_z^2) (e_w - e_z)$   
 (9) EDINGER, 1965  $V = (0.015 + 0.0009 v_z^2) (e_w - e_z)$

nimmt die Konstante  $c$  den Wert 1 an.

Weitaus die meisten der Verdunstungsformeln stehen jedoch in der einfachen Form

$$V = (a + b v_z)(k e_w - e_z),$$

( die Konstante k berücksichtigt den Salzgehaltsanteil des Meerwassers; es ist das Verhältnis der Meerwasserverdunstung  $V_m$  zur Süßwasserverdunstung  $V_s$ :  $V_m/V_s = 0.98 \frac{e_w - e_1}{e_w - e_l}$

(WÜST, 1920). Im allgemeinen wird k jedoch gleich 1 gesetzt:

- |   |                                       |        |
|---|---------------------------------------|--------|
| (10) CARRIER, 1921                        | $V = (0.32 + 0.273 v_z)(e_w - e_z)$   | [mm/d] |
| (11) HIMUS und<br>HINCHLEY, 1924          | $V = (0.557 + 0.243 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (12) LURIE und<br>MICHAÏLOFF, 1936        | $V = (0.395 + 0.302 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (13) SPRENGER, 1943                       | $V = (0.394 + 0.3 v_z)(e_w - e_z)$    | "      |
| (14) L. HEFNER STUDIES<br>1955            | $V = (0.314 + 0.160 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (15) RIMSHA und<br>DOCHENKO, 1957         | $V = (0.21 + 0.102 v_z)(e_w - e_z)$   | "      |
| (16) MEYER, 1965                          | $V = (0.251 + 0.056 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (17) USA, USSR, WMO, 1966                 | $V = (0.13 + 0.094 v_z)(e_w - e_z)$   | "      |
| (18) SCHWEIZER KÜHL-<br>BERICHT, 1968     | $V = (0.118 + 0.093 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (19) RICHTER, 1975<br>Talsperre Pöhl, DDR | $V = (0.195 + 0.081 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (20) RICHTER, 1975<br>Talsp. Spremberg    | $V = (0.0278 + 0.018 v_z)(e_w - e_z)$ | "      |
| (21) NEUWIRTH, 1974                       | $V = (0.008 + 0.007 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |
| (22) SPURR, 1974                          | $V = (0.008 + 0.006 v_z)(e_w - e_z)$  | "      |

STURM (1963) zitiert weiterhin eine, später von LAEVASTU modifizierte, Verdunstungsformel von ROHWER (1931), die er

für die zur Zeit beste hält (vgl. STURM, 1968):

$$(24) \text{ ROHWER, 1931} \quad V = (0.26 + 0.154 v_z)(0.98 e_w - e_z) [\text{mm/d}]$$

für Wind im Meeresniveau.

Modifiziert von LAEVASTU für Wind in 8 m Meßhöhe wird (24)

$$(25) \text{ LAEVASTU, 1960} \quad V = (0.26 + 0.077) \overline{v_z} (0.98 e_w - e_z) [\text{mm/d}].$$

Ferner existiert von KOHLER (1954) eine Verdunstungsformel der Form

$$(26) \quad V = (0.13 + 0.138 v_z)(e_w - e_z) [\text{mm/d}];$$

(10) - (26) mit  $v_z$  in m/sec und  $e_w, e_z$  in mb.

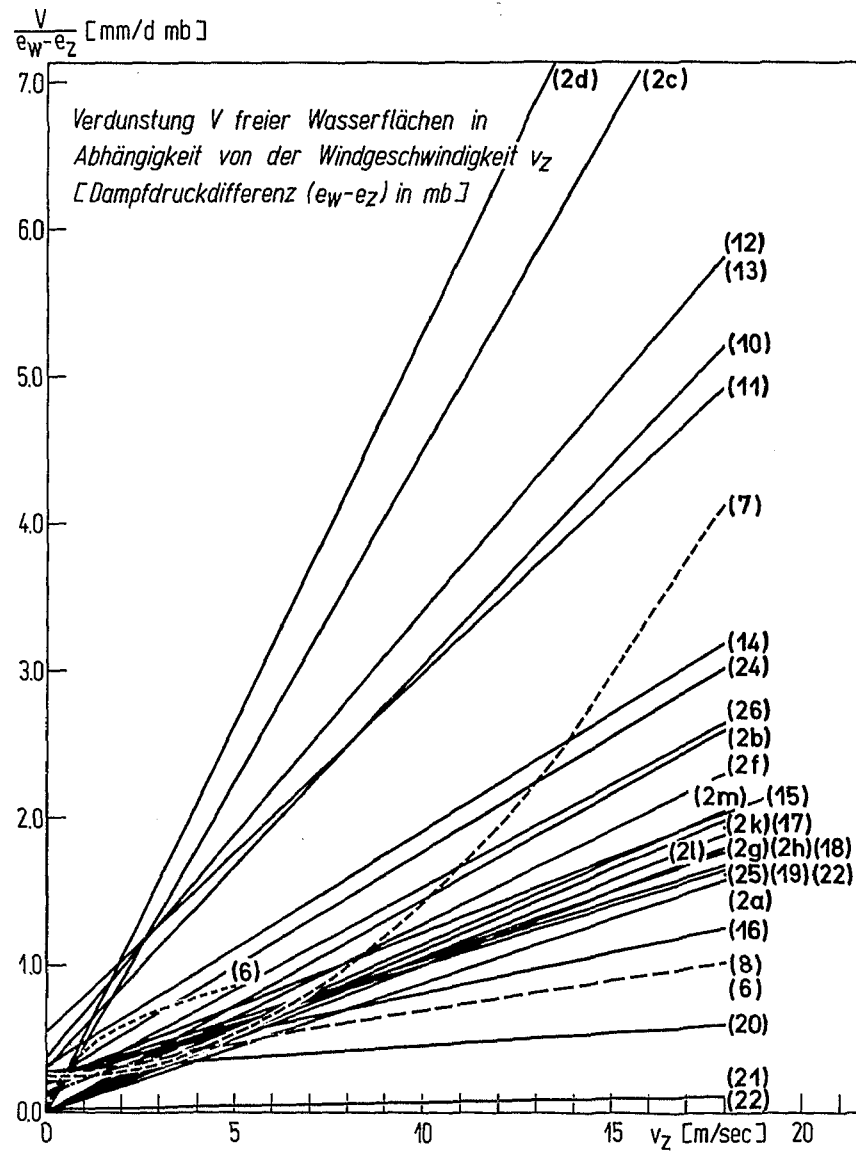
Die in den Wärmelastplänen häufig verwendete Verdunstungsformel von TRABERT (1896), mit einer Windabhängigkeit der Form  $\sqrt{v_z}$  hat nach GÜNNEBERG (1976) nur mehr historisches Interesse. Für Windgeschwindigkeiten  $0.5 \leq v_z \leq 4$  m/sec weicht sie allerdings nicht mehr als 20% von den modernsten Messungen ab.

Die einzige Betrachtung für den Fall negativer Dampfdruckdifferenz ( $e_w - e_z < 0$ ) (Kondensation auf der Meeresoberfläche) findet sich bei STURM (1963). Hierfür liegen wiederum fast keine Messungen vor, so ist man auf theoretische Betrachtungen angewiesen. STURM empfiehlt nach LAEVASTU (1960) die Verwendung der ROHWER'SCHEN Formel (25) unter Fortfall der Konstanten ("umgekehrte Verdunstungsformel")

$$(27) \quad K = 0.077(e_w - e_z) v_z [\text{mm/d}].$$

Zur Entscheidung über die für Ostseeverhältnisse am besten geeignete Methode zur Verdunstungsbestimmung kommt erschwerend hinzu, daß kaum Überprüfungen der Formeln durch Meßreihen vorliegen. Abb. 19 gibt den Verlauf der Verdunstung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei den verschiedenen Autoren: bei Windgeschwindigkeiten bis etwa 5 m/sec unterscheiden sie sich nur durch die differierenden Verdunstungsangaben bei Windstille.

Abb. 19 : Vergleich verschiedener Verdunstungsformeln  
(Windgeschwindigkeit  $v_z$  in m/sec, Zahlen :  
Nummer der Formel im Text)



Zu wenig Berücksichtigung wurde bisher offensichtlich der Meßhöhe der Windgeschwindigkeit geschenkt. Bei vielen Autoren liegen keine Angaben darüber vor. Zur Vergleichbarkeit der Formeln sollten sie jedoch alle auf ein Niveau reduziert werden (z.B. KUHN, 1972). WAGNER (1931) gibt eine Reduktionsformel für die Windgeschwindigkeiten an :

$$v_h = v_1 \sqrt{z}$$

$v_1$  Wind im Meeresniveau  
 $z$  angegeben Meßhöhe.

Bei GÜNNEBERG (1976) findet sich eine Empfehlung zur Reduktion der Meßhöhen auf 2 m in folgender Form :

Wenn  $V = (a + bv_z)(e_w - e_z)$  die Verdunstungsformel darstellt, wird der Koeffizient  $b$  vor der Windgeschwindigkeit  $v_z$  mit

$$\left(\frac{M}{2}\right)^{0.142}$$

multipliziert.  $M$  ist die ange-

gebene Meßhöhe der Windgeschwindigkeit..

d) Konvektion sensibler Wärme  $Q_K$

Die Konvektion sensibler Wärme ist neben der effektiven Ausstrahlung und der Verdunstung die dritte wichtige Komponente der Wärmehaushaltsgleichung und beschreibt den Wärmeaustausch zwischen Wasseroberfläche und unterster Luftschicht. Dieser Austausch direkt an der Grenzfläche erfolgt wegen des praktisch immer vorhandenen Temperaturunterschiedes einmal durch physikalische Wärmeleitung, zum anderen durch turbulente konvektive Vorgänge, die in ihrer Wirksamkeit die physikalische Wärmeleitung weit übertreffen. Bei Betrachtungen des Wärmehaushaltes kann diese deshalb ohne weiteres vernachlässigt werden (STURM, 1963).

Die direkte Messung von  $Q_K$  bietet ähnliche prinzipielle Schwierigkeiten wie die Verdunstungsmessung. Ein 1932 von SHULEJKIN entwickeltes Evaporometer lieferte keine repräsentativen Meßwerte (SAMOJLENKO, 1946, 1959). So muß auf die rechnerische Bestimmung der Konvektion zurückgegriffen werden, die meist auf empirischen und halbempirischen Formeln beruht. Nach STURM (1963) lassen sich ganz allgemein drei Berechnungsarten unterscheiden :

$$(1) \quad \text{Bowen-Verhältnis} \quad R = \frac{Q_K}{Q_V} = 0.65 \frac{P}{1000} \frac{(t_w - t_z)}{(e_w - e_z)}$$

$$(2) \quad \text{Formel v. Samojlenko} \quad Q_K = a (t_w - t_z) v_z$$

$$(3) \quad \text{Formel v. Kuzmin} \quad Q_K = \frac{c(t_w - t_z)v_z}{d \left[ \ln\left(\frac{z+z_0}{z_0}\right) \right]^2 + \Delta z \cdot v_z}$$

Das 1926 von BOWEN eingeführte Bowen-Verhältnis  $\frac{Q_K}{Q_V}$  basiert

auf der Annahme, daß der latente und der konvektive Wärmestrom durch den gleichen Prozeß gesteuert werden, und zwar durch den turbulenten Austausch über der Meeresoberfläche. Deshalb kann eine Proportionalität des vertikalen Wärmetransportes  $Q_K$  und des vertikalen Feuchtetransportes voraus-

gesetzt werden. Damit läßt sich für einen bestimmten Ort die Konvektion bei Kenntnis entweder des maßgebenden R - Wertes oder der hydrometeorologischen Elemente ( Temperatur- und Feuchtedifferenz Wasser - Luft ) sowie der Verdunstungswerte berechnen (STURM, 1963).

Die Angaben über die R - Werte sind bei den einzelnen Autoren recht unterschiedlich :

- (4)  $\frac{Q_K}{Q_V} = R = 0.28$  Äquator  
 (5)  $\frac{Q_K}{Q_V} = 1.67$  70°N,S } SCHMIDT (1915)  
 (6)  $\frac{Q_K}{Q_V} = 0.10$  mittl.ozean. ANGSTRÖM (1920)  
 Verhältnisse MOSBY (1936)  
 (7)  $\frac{Q_K}{Q_V} = 0.10$  Äquator  
 (8)  $\frac{Q_K}{Q_V} = 0.53$  70°N } JACOBS (1942)  
 (9)  $\frac{Q_K}{Q_V} = 0.25$  70°S }

(10)	° nördl. Breite					° südl. Breite				
	60-50	50-40	40-30	20-10	10-0	0-10	10-20	20-30	30-40	50-60
R	0.27	0.16	0.21	0.07	0.10	0.11	0.14	0.12	0.15	0.26

ALBRECHT (1961)

Mittel : R = 0.15 Weltozean

Es können bei Verwendung des Bowen - Verhältnisses Verfälschungen auftreten, die ihre Ursache in einer Nichtberücksichtigung des strahlungsbedingten Wärmetransportes durch die laminare Grenzschicht und des Gischteffektes bei höheren Windgeschwindigkeiten haben (STURM, 1963); im Extremfall können sogar konvektive und latente Wärmeströme mit gegenläufiger Tendenz auftreten (SAMOJLENKO, 1959). Die Konvektionsformel von SAMOJLENKO (1946, 1959) (2) entsteht aus dem Bowen - Verhältnis, wenn die vereinfachte Sverdrup'sche Verdunstungsformel (vgl. c. (1) ) für den Term  $Q_V$  eingesetzt wird :

$$Q_K = 0.65 \frac{P}{1000} \left( \frac{t_w - t_z}{e_w - e_z} \right) (K_2 L (e_w - e_z) v_z)$$

$K_2$  Verdunstungsfaktor



L Verdunstungswärme (585 cal/g)

für P = 1000 mb

L = 585 cal/g

$$\Rightarrow Q_K = 0.65 K_2 L (t_w - t_z) v_z$$

$$(2) \quad Q_K = a_2 (t_w - t_z) v_z$$

SAMOJLENKO (1946, 1959) berücksichtigt eine laminare Grenzschicht unmittelbar an der Wasseroberfläche durch :

$$(11) \quad Q_K = a'_2 (t_w - t_z) v_z$$

und gibt für die beiden Konvektionsfaktoren  $a_2$  und  $a'_2$

Zahlenwerte in Abhängigkeit von der Meßhöhe z an :

z [m]	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	20.0
$a_2 \cdot 10^5$	0.28	0.19	0.14	0.12	0.105	0.095	0.090	0.075
$a'_2 \cdot 10^6$	0.75	0.61	0.52	0.44	0.40	0.38	0.36	0.33
$a'_2$	6.47	5.27	4.49	3.80	3.45	3.28	3.11	2.85

$Q_K$  in  $[\text{cal/cm}^2 \text{ d}]$

Für die übliche Meßhöhe 6m liegt der Zahlenwert des Konvektionsfaktors demnach bei  $a_2 = 3.45$ ; PRIVETT (1960) gibt  $a_2 = 2.29$ , KANGOS (1960)  $a_2 = 5.53$  an ( $Q_K$  jeweils in  $\text{cal/cm}^2 \text{ d}$ ) (nach STURM, 1963).

Wenn in das Bowen - Verhältnis (1) statt der Sverdrup'schen Verdunstungsformel die modifizierte Rohwer-Beziehung (LAEVASTU, 1960; STURM, 1969; HELBIG und HUPFER, 1970) eingesetzt wird (vgl. c.(25) ), folgt :

$$(12a) \quad Q_K = 38.9 (0.26 + 0.077 v_z) (t_w - t_z) \quad [\text{cal/cm}^2 \text{ d}] \quad \text{für} \\ t_w - t_z > 0 \text{ instabile} \\ \text{Luftschichtung}$$

$$(12b) \quad Q_K = 3.0 v_z (t_w - t_z) \quad [\text{cal/cm}^2 \text{ d}] \quad \text{für} \\ t_w - t_z < 0 \text{ stabile} \\ \text{thermische Schichtung und} \\ \text{geringer turb.Austausch}$$

Auch die Formel (3) (KUZMIN, 1938) läßt sich aus dem Bowen - Verhältnis herleiten, indem die ursprüngliche Sverdrup'sche Verdunstungsformel ( c.(1)) angewandt wird :

$$(3) \quad Q_K = \frac{c_1 (t_w - t_z) v_z}{d_1 \left[ \ln \left( \frac{z+z_0}{z_0} \right) \right]^2 + \Delta z \cdot v_z}$$

Nach STURM (1963) ist diese Beziehung jedoch nur einmal von MIYAZAKI (1949) benutzt worden ( mit  $c_1=4.15$ ,  $d_1=5.742$ ,  $z=0.16$  cm,  $Q_K$  in cal/cm<sup>2</sup>d).

Es seien noch drei weitere Möglichkeiten zur Bestimmung der Konvektion erwähnt :

WADA (1967) gibt für Wärmehaushaltsberechnungen in Zusammenhang mit Kühlwasseruntersuchungen folgende Formel an:

$$(13) \quad Q_K = 2.77 \cdot 10^{-4} (0.48 + 0.272 v_z) (t_z - t_w).$$

DEVIK (1932) berechnet für Binnenwasserverhältnisse die Konvektion nach :

$$(14) \quad Q_K = 0.0439 T_w \sqrt{v_z + 0.3} (t_w - t_z) \quad \left[ \text{cal/cm}^2 \text{d} \right].$$

Diese Beziehung ist von HELA (1951) für Wärmehaushaltsberechnungen in der Ostsee herangezogen worden (STURM, 1963). Eine weitere Formel ist bei drei Autoren zu finden :

$$(15) \quad Q_K = 2.12 \frac{T_w - T_z}{e_w - e_z} \left[ \text{cal/cm}^2 \text{d} \right] \quad (\text{ALBRECHT, 1940;}$$

ECKEL und REUTER, 1950; FLINSPACH und FLEIG, 1972).

Da aufgrund mangelnder Meßmethoden ein Vergleich der berechneten mit gemessenen Konvektionswerten nicht möglich ist, kann keine Empfehlung zur Verwendung einer der empirischen Formeln gegeben werden. Jedoch scheint die Beziehung von LAEVASTU (12) dann angebracht zu sein, wenn auch die Verdunstung mit der modifizierten Rohwer-Formel berechnet wurde. Es sind dann die gleichen Mittelungsintervalle zu verwenden. Im stabilen Schichtungsfall  $(t_w - t_z) < 0$  kann die Konvektionsformel (12b) nur als sehr grobe Näherung betrachtet werden ( nach STURM, 1963).

- e)  $Q_T$  durch Advektion, Vertikalkonvektion und Vermischung herbeigeführter Wärmegewinn/-verlust innerhalb des Mediums

Unter  $Q_T$  werden alle auf einem Wärmetransport innerhalb des Mediums beruhenden Vorgänge verstanden. Sie umfassen die in bisherigen Haushaltsbetrachtungen der westlichen Ostsee (STURM, 1967, 1970, 1971) berücksichtigte Kalt- oder Warmwasseradvektion im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee ebenso wie die zeitweise in den Förden beobachtete Vertikalkonvektion.

### 3.7. - Extremsituationen

Bei Berechnung der Tages- und Monatsmittel der einzelnen Parameter gehen Extremwerte naturgemäß verloren. In diesem Zusammenhang sind jedoch Höchstwerte der Wassertemperaturen, der Salzgehalts- und Windverhältnisse, des Seegangs und der Wasserstandsänderungen an den Küsten von besonderer Bedeutung.

Deshalb müssen die bei Mittelung verlorenegegangenen Extreme aus der Analyse der Einzelmessungen rückgewonnen werden, wie es z.B. für die Oberflächen- und Bodentemperaturen mit dem Datenmaterial der Feuerschiffe durchführbar ist.

Eine vorläufige Analyse der Daten liefert folgende Höchstwerte der Oberflächen- und Bodentemperaturen bei den Feuerschiffen "Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt" (Tab. 12).

Tab. 12 : Maximaltemperaturen bei den Feuerschiffen der Kieler Bucht

#### F.S. "Fehmarnbelt"

Beobachtungszeitraum: Oberfläche 1926-42 tgl. 8<sup>00</sup>  
 1948-73 "  
 1953-70 4 Mess./Tag  
 Boden (27m) 1937-42 tgl. 8<sup>00</sup>  
 1948-73 "

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Oberfl.	5.7	5.0	5.9	9.8	15.0	20.3	24.2	22.4	21.1	16.0	12.2	8.7
Boden	7.7	5.2	4.5	6.8	7.9	11.6	13.6	16.3	17.9	14.9	12.8	10.7

#### F.S. "Kiel"

Beobachtungszeitraum: Oberfläche 1936-42 tgl. 8<sup>00</sup>  
 1948-70 "  
 Boden (18m) 1937-42 "  
 1962-68 "

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Oberfl.	5.2	4.5	6.3	9.2	15.5	20.9	22.7	21.7	21.3	16.3	12.8	8.5
Boden	5.6	4.5	4.5	7.4	9.0	13.8	14.9	18.2	19.3	15.2	12.8	9.1

#### F.S. "Flensburg"

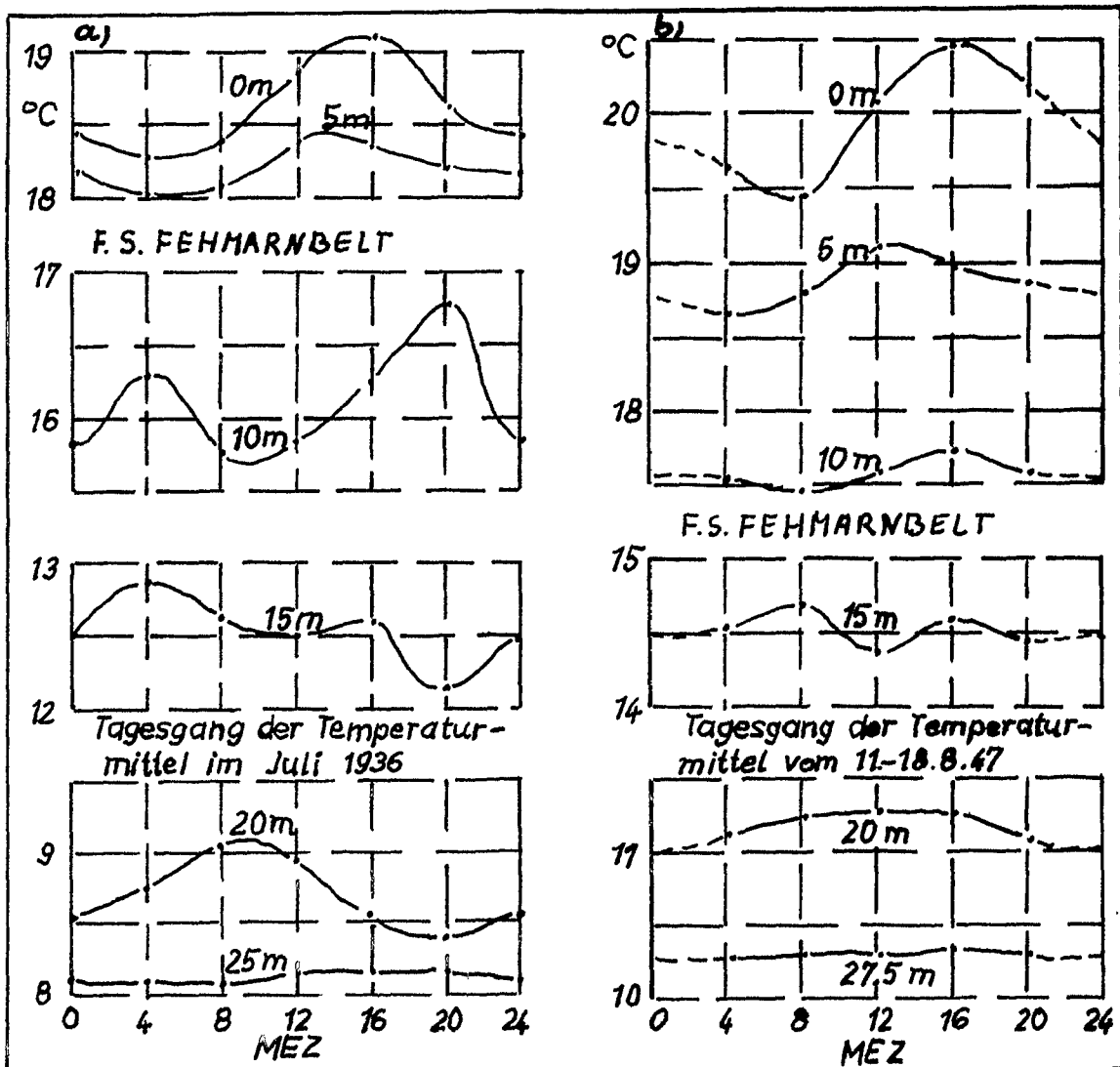
Beobachtungszeitraum: Oberfläche 1936-42 tgl. 8<sup>00</sup>  
 1948-62 "  
 Boden (28m) 1937-42 "

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Oberfl.	5.7	4.6	7.2	9.7	16.7	21.0	22.5	21.9	21.4	16.5	11.9	9.5
Boden	6.5	4.8	4.6	6.2	7.4	8.2	9.5	10.6	12.7	13.2	12.3	10.6

Es ist damit zu rechnen, daß die Extreme in den übrigen Teilen der Kieler Bucht ähnlich verlaufen; nur bei sehr geringen Wassertiefen kann die tägliche Erwärmung in küstennahen Gewässern stärker ins Gewicht fallen. Die jahreszeitliche Erwärmung und ihre in extremen Sommern möglichen Höchstwerte sind in den Feuerschiffsmessungen sicher erfaßt, auch wenn die Beobachtungstermine stets morgens (8<sup>00</sup>) liegen. Nach WEIDEMANN (1948) beträgt die Amplitude der täglichen Erwärmung der oberflächennahen Schicht im Fehmarnbelt im Sommer 1°C (vgl. Abb. 20 ).

Abb. 20 : Tagesgang der Temperaturmittel im Fehmarnbelt

- a) im Juli 1936
- b) im August 1947



Auch die höchsten beobachteten Oberflächentemperaturen der Ostsee (MATTHÄUS, STURM und FRANCKE, 1975: 24°C im Bornholmbecken im Sommer 1975) sind von anderer Stelle her (F.S. "Fehmarnbelt", Juli) in der Tab. 12 vertreten. Diese Tabelle läßt sich durch Berücksichtigung aller anderen vorliegenden Daten (Tab. 4) erweitern und erfaßt dann mit großer Sicherheit die in der westlichen Ostsee möglichen höchsten Temperaturen. Als zusätzliche Sicherheit kann eine Temperaturspanne von 1-3 °C zu den Extremwerten addiert werden.

Für die Bodenverhältnisse gilt ähnliches, wenn auch die tägliche Erwärmung dort nicht mehr wirksam wird und nur advektive Prozesse die Temperaturen verändern können. Außer Berücksichtigung auch der anderen Daten (Tab. 4) sollte jedoch auch hier eine Sicherheitsspanne von einigen Grad addiert werden.

Aussagen über Höchstwerte des Salzgehaltes lassen sich aus Berichten über Salzwassereinbrüche in die Ostsee (FRANCKE und NEHRING, 1971; WOLF, 1972; WYRTKI, 1954) und den Messungen auf den Feuerschiffen der Kieler Bucht ableiten. Die Salzwassereinbrüche sind von bestimmten meteorologischen und hydrographischen Voraussetzungen abhängig wie Westwindlage, niedriger Wasserstand im Arkonabecken und positive Anomalien in Bezug auf den jährlichen Gang des Bodensalzgehaltes in der Beltsee, die, wenn überhaupt, nur im Winter auftreten. Nach WOLF (1972) sind im Fehmarnbelt am Boden Salzgehalte von 29 ‰ vorgekommen, so daß ein Maximalwert des Salzgehaltes in Bodennähe von 30 ‰ die tatsächlichen Verhältnisse in der Kieler Bucht beschreiben dürfte. Die Analyse der Einzelmessungen und der Feuerschiffsbeobachtungen (vgl. 3.2.) kann weitere Aufschlüsse über die zu erwartenden Extremwerte des Salzgehaltes in verschiedenen Tiefen geben.

Über die Windverhältnisse wurde in 2.3. ausführlich berichtet. Dort zeigte sich schon bei Aufschlüsselung der Messungen eines Jahres die starke Bevorzugung der SW-W-Richtungen für alle Windstärken. Aus älteren Übersichten der früheren Sturmwarnungsstellen Schleimünde und Travemünde über den Zeitraum 1914-38 (Beiträge zur Klimatologie der Ostsee, 1940) zeigen die Tabellen 13 und 14 die Häufigkeit der Windstärken  $\geq 8$  Bft und die vorherrschenden Sturmrichtungen, geordnet nach ihrer Häufigkeit.

Tab. 13 : Schleimünde 1914-38, Häufigkeit der Windstärke  $\geq 8$  Bft in %

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
6.2	4.8	3.2	2.4	1.5	2.1	1.5	1.6	2.8	5.4	5.4	4.8

Schleimünde 1914-38, die zwei vorherrschenden Sturmrichtungen

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
W	W	SE	NW	NW	NW	NW	WNW	SW	W	SE	SE
SE	SE	W	E	SE	WNW	WNW	WSW	WNW	NW	SW	W

Tab. 14 : Travemünde 1914-38, Häufigkeit der Windstärke  $\geq 8$  Bft in %

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
3.9	2.4	1.4	1.4	0.6	1.2	0.8	0.7	1.6	3.4	2.9	3.8

Travemünde 1914-38, die zwei vorherrschenden Sturmrichtungen

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
W	W	WSW	W	NE	SW	W	SW	SW	SW	WSW	WSW
WSW	SW	W	WNW	SSW	WSW	SW	W	W	WSW	SW	W

Diese Angaben lassen sich durch zahlreiche weitere Messungen bestätigen : die Feuerschiffe "Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt" liefern neben den hydrographischen Daten auch Schätzungen der Windstärke und Messungen der Windrichtungen (F.S. "Fehmarnbelt" seit 1953 auch Messungen der Windgeschwin-

digkeit). Die Auswertung der Beobachtungen (F.S."Flensburg": 23 Jahre bei 6 Terminen/Tag, F.S."Fehmarnbelt": 40 Jahre bei 6 Terminen/Tag, 20 Jahre bei 4 Terminen/Tag, F.S."Kiel": 27 Jahre bei 6 Terminen/Tag) muß noch vorgenommen werden, dürfte jedoch kein wesentlich anderes Bild als Tab. 13 und 14 zeigen. Aus dem Vergleich der Stationen Kiel-Holtenau, F.S."Kiel", F.S."Fehmarnbelt" und Westermarkelsdorf/Fehmarn geht hervor (vgl. Abb.17), daß die Windrichtungen sich während eines Meßtermins selten stark unterscheiden, d.h. meist unter 10 SKT der 32er-Windrose bleiben, so daß die Feuerschiffsbeobachtungen, ergänzt durch mehrere Landstationen, Aussagen über die gesamte Kieler Bucht zulassen.

Die Windgeschwindigkeiten mehrerer Stationen lassen sich nur schwer vergleichen, da die Angaben entweder in Bft (Windstärke) oder in m/sec (Windgeschwindigkeit) vorliegen und die Umrechnung mit Schwierigkeiten verbunden ist (vgl. 2.3.).

Für Angaben über Seegangsextreme kann der theoretische Wert der Wellenhöhen und -perioden für einen bei Windstärke 7 in der westlichen Ostsee voll ausgereiften Seegang verwendet werden, der bei der für Ostseeverhältnisse größtmöglichen Fetchlänge von 300 sm eine Wellenhöhe von 8.8 m und Perioden von 8.7 sec ergibt (MAGAARD, 1974, vgl. auch 2.2. ). Allerdings ist dies nur der theoretische Wert, denn nach BRUNS (1955) kommt in der westlichen Ostsee nur eine maximale Wellenhöhe von 4-5 m vor. Tab. 15 gibt eine Übersicht über die Häufigkeit hohen Seegangs bei Feuerschiff "Fehmarnbelt".

Tab. 15 : Häufigkeit hohen Seegangs (%) beim F.S."Fehmarnbelt" 1923-35  
aus: Beiträge zur Klimatologie der Ostsee (1940)

Jahreszeit	Seegang (Petersen-Stärke)							Anzahl der Beobachtungen
	0	1	2	3	4	5	6-9	
Dez., Jan., Feb.	9	12	23	22	17	11	6	6733
Mär., Apr., Mai	19	18	24	18	11	7	3	6809
Jun., Jul., Aug.	13	17	23	20	15	9	3	7165
Sep., Okt., Nov.	7	11	22	13	19	11	7	7096



Die höchsten bekannten Wasserstandsänderungen an der traten bei der Sturmflut von 1872 auf (KANNENBERG, 1953; THIEL, 1962). Die Tab. 16 gibt eine Übersicht über die damals erreichten und weitere extreme Hubhöhen an der Küste.

Tab. 16: Hohe Wasserstände an der deutschen Ostseeküste (in cm über NN)

	HHW	NNW	Datum	Gesamt- hub	NE-Sturm 13.11.1872 HHW ü.Mittelwasser
Flensburg	+ 308	- 243	10.10.1926	551	+ 335
Schleimünde	+ 321	- 243	29.12.1885	564	+ 329
Eckernförde	+ 315	- 179	6.11.1911	494	+ 305
Kiel	+ 297	- 229	4.10.1860	526	+ 318
Fehmarnsund	+ 275	- 226	13. 9.1899	501	
Neustadt	+ 282	- 218	16.12.1873	500	
Travemünde	+ 325	- 207	6.11.1911	532	+ 318
Lübeck	+ 337	- 209	6.11.1911	546	

Die Extreme treten vorwiegend bei Stürmen in Richtung der Hauptachse der südlichen Ostsee (Travemünde-Bornholm) auf. KRÜGER (1910) und KANNENBERG (1956) stellten eine 30 - 40-jährige Periodizität im Auftreten der Hochwasser im 19. und 20.Jahrhundert bis 1949 fest. Die Sturmfluten häuften sich jeweils in den Zeiträumen 1820/35, 1855/74, 1900/14 und 1935/49.

Im Zusammenhang mit den Extremsituationen sind noch zwei Arbeiten über den Wärmehaushalt der Ostsee erwähnenswert. In einer Arbeit von STURM (1971) wird ein Zusammenhang des Auftretens von Extremlagen im Wärmehaushalt (Fehmarnbelt) mit bestimmten Großwetterlagen und die jahreszeitliche Abhängigkeit diskutiert. MATTHÄUS, STURM und FRANCKE (1975) berichten über die im Sommer 1975 in der mittleren Ostsee aufgetretenen hohen Temperaturanomalien (Bornholmbecken: maximale Temperaturen von  $24^{\circ}\text{C}$ , d.i. eine positive Anomalie von  $+ 7^{\circ}\text{C}$ ) und vergleichen mit anderen Wärmehaushaltsbetrachtungen.

#### 4. Bibliographie

- ALBRECHT, F., 1940 : Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Erdoberfläche in verschiedenen Klimagebieten  
Wiss. Abhandl. Reichswetteramt f. Wetterdienst VIII (2)
- ALBRECHT, F., 1951 : Monatskarten des Niederschlags und Monatskarten der Verdunstung und des Wärmehaushaltes des Indischen und des Stillen Ozeans  
Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone 29
- ALBRECHT, F., 1958 : Methods of computing global radiation  
Geofisc. pura e applic. 32
- ALBRECHT, F., 1958 : Untersuchungen über den Wärmeumsatz an der Meeresoberfläche und die Meeresströmungen im Indischen Ozean  
Geofisc. pura e applic. 39
- ALBRECHT, F., 1961 : Der jährliche Gang der Komponenten des Wärme- und Wasserhaushaltes der Ozeane  
Ber. Dt. Wetterdienst 11 (79)
- ALIVERTI, G.A., A. DE MAIO, M. PICOTTI, 1959 : On the difference ( $e_w - e_a$ ) observed in the South Tyrrhenian Sea  
1 st Int. Oceanogr. Congr., New York 1959, Reprint of abstr. of papers, p.715
- ANGSTRÖM, A., 1916 : p.529 in : Met. Zeitschr. 33
- ANGSTRÖM, A., 1920 : Applications of heat radiation measurements to the problems of evaporation from lakes and the heat convection at their surfaces  
Geografiska Annaler 2
- ANGSTRÖM, A., 1923 : Report on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation  
Koninkl. Nederl. Meteorol. 112
- Bioklimatischer ATLAS für Schleswig-Holstein, 1940, Forschungsstelle f. Landwirtschaftsplanung und Landschaftsgestaltung Lübeck 1940
- ATLAS für Klimatologie, geographische und ozeanographische Faktoren der Nordsee und angrenzender Gewässer, 1953
- Oceanographic ATLAS of the North Atlantic Ocean, Section II : Physical Properties, US Naval Office 1967
- BEHR, H. D., 1976 : Untersuchungen zum Jahresgang des atmosphärischen Wärmehaushaltes für das Gebiet der Ostsee  
Ber. Inst. f. Meereskunde Univ. Kiel 17 Teil 1 und 2
- BEITRÄGE zur Klimatologie der Ostsee, 1940  
Deutscher Wetterdienst, Interner Bericht (als Sonderdruck BB I 16 im IfM Kiel)
- BEOBACHTUNGEN auf den deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee, 1924 ff.  
Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg: Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse
- BERG, H., 1949 : Ergebnisse von Messungen der Globalstrahlung in Bochum  
Zeitschr. f. Meteorol. 3

- BERICHTE der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere in Kiel, Jahresberichte 1871 - 93
- BERNHARD, O. und L. KLINKER, 1968 : Tages- und jahreszeitliche Variationen bioklimatischer Wirkfaktoren in der Ostsee  
Zeitschr. f. Meteorol. 20 (7/8) : 197
- BIGELOW, 1907 : Studies on the phenomena of the evaporation of water over lakes and reservoirs  
Monthly Weather Rev. 35 : 311
- BOCK, K. H., 1971 : Monatskarten des Salzgehaltes; Monatskarten der Dichte  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 12 und 13 Ergänzungshefte
- BOLZ, H.M., 1949 : Die Abhängigkeit der infraroten Gegenstrahlung von der Bewölkung  
Zeitschr. f. Meteorol. 3 : 201
- BOLZ, H.M. und G. FALCKENBERG, 1949 : Neubestimmung der Konstanten der Angström'schen Strahlungsformel  
Zeitschr. f. Meteorol. 3 : 97
- BOLZ, H.M. und H. FRITZ, 1950 : Tabellen und Diagramme zur Berechnung der Gegenstrahlung und Ausstrahlung  
Zeitschr. f. Meteorol. 4 : 314
- BORTKOVSKIJ, R.S., 1961 : Zur Methode der Berechnung der Elemente des Wärmehaushaltes der Meeresoberfläche (russ)  
Okeanologija 3 : 512
- BOWEN, J.S., 1926 : The ratio of heat losses by conduction and evaporation from any water surfaces  
Phys. Rev. 27 : 779, Ser.2
- BRADY, D.K., W.L. GRAVES jr., J.C. GEYER, 1969 : Surface heat exchange at power plant cooling lakes  
Cooling Water Studies for Edison Electric Inst. Res. Proj. No. 49, Rep. 5, J. Hopkins Univ. Baltimore, Md. USA  
and Edison Electric Inst. Publ. 69-901
- BRASLAVSKIJ und NURGALIEV, 1966 : Neue Formel zur Berechnung der Verdunstung (russ.)  
Kazachskij monceno-issledovatel'skij institut energetiki Vyp 4 : 195
- BROCKAMP, B. und H. WENNER, 1963 : Verdunstungsmessungen auf dem Steiner See bei Münster in Westfalen  
Dt. Gewässerkundl. Mitt. 7 (6) : 149
- BROCKS, K., 1955 : Wasserdampfschichtung über dem Meer und die "Rauhigkeit" der Wasseroberfläche  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 8 : 354
- BROGMUS, W., 1953 : Eine Revision des Wasserhaushaltes der Ostsee  
Kieler Meeresforsch. 9 (1) : 15
- BROGMUS, W., 1959 : Zur Theorie der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche  
Seewetteramt Hamburg, Einzelveröffentlichung 21
- BROSIN, H.J., 1972 : Untersuchungen zur horizontalen turbulenten Diffusion in den Gewässern um Rügen  
Beitr. z. Meeresk. 30/31 : 35
- BROSIN, H.J., 1974 : Untersuchungen zur mittelmaßstäblichen horizontalen Diffusion mit Driftbojen in den Gewässern um Rügen, Beitr. z. Meeresk. 34 : 5

- BROSIN, H.J., 1976 : Einige Ergebnisse von Untersuchungen zur turbulenten Diffusion mit Driftbojen in küstennahen Gewässern  
Beitr. z. Meeresk. 37 : 105
- BRUNNER, H. und H. NEUMANN, 1938 : Winduntersuchungen in der Kieler Förde  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 66 (6) : 296
- BRUNS, E., 1955 : Handbuch der Wellen der Meere und Ozeane  
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften , Berlin 1955
- BRUNT, 1932 : p. 389 in : Quarterly Journal 58
- BUDYKO, M.I., 1948 : Evaporation under natural conditions (russ.)  
Gidrometeoizdat Leningrad
- BÜLOW, V., 1954 : Allgemeine Küstendynamik und Küstenschutz an der südlichen Ostsee zwischen Trave und Swine  
Beiheft zur Zeitschr. Geologie 10, Akademie-Verlag Berlin
- CALVO, A. und J.SECO, 1972 : Evaporation in France: comparison of the Penman and Ivanov formulas with a new formula (span.)  
Revista de Geofis., Madrid 30 (3/4) : 155
- CARRIER, 1921 : p. 432 in : Journ. Ind. Eng. Chem. 13
- CARSON, J.E., 1972 : The atmospheric effects of thermal discharges into a lake  
Journ. Air Pollut. Cont. Assoc. 22 (7) : 523
- CHERUBIM, R., 1931 : Über Verdunstungsmessung auf See  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 59 : 325
- CIMPA, F.O., 1976 : Ein Modell der Mitwirkung der meteorologischen Größen an der Zusammensetzung der potentiellen Evapotranspiration  
Dt. Gewässerkundl. Mitt. 20 (2)
- CLAUSS, E., G.HESSLER, P. SPETH, K. UHLIG, 1977 : Datendokumentation zum meteorologischen Meßprojekt "Kieler Bucht" 1976  
Ber.Inst. f. Meereskunde Univ. Kiel 37
- CRAIG, R.A. und R.B.MONTGOMERY, 1949 : Evaporation (measured) from ocean into hydrostatically stable air  
Journ. Meteorol. 6 : 426
- CUMMINGS, N.W., 1929 : Relation between evaporation and humidity as deduced quantitatively from rational equations based on thermodynamics and molecular theory  
Nat. Res. Council, Washington D.C., Bulletin 68 : 47
- CUMMINGS, N.W., 1930 : Alignment diagram for "R" of the energy-evaporation equation  
Monthly Weather Rev. 58 (4) : 142
- CUMMINGS, N.W., 1936 : Evaporation from water surfaces : status of present knowledge and need for further investigations  
Am. Geophys. Transactions 17 : 507
- CUMMINGS, N.W., 1950 : Minimum evaporation from water surfaces  
Trans. Am. Geophys. Union 31 (5) : 757
- CUMMINGS, N.W. und B. RICHARDSON, 1927 : Evaporation from lakes  
Physical Rev. 30 (4) : 527
- CZEPA, O., 1953 : Über die spektrale Reflexion der Globalstrahlung an Wasseroberflächen  
Acta Hydrophys. 1 (1) : 172

- DAMMAN, W., 1965 : Meteorologische Verdunstungsmessung  
Näherungsformeln und die Verdunstung in Deutschland  
Die Wasserwirtschaft 55 (10) : 315
- DEARDORFF, J.W., 1961 : Local evaporation from a smooth water  
surface  
Journ. Geophys. Res. 66 (2) : 529
- DEFANT, A., 1961 : Physical Oceanography, Vol. 1 : 219, New York
- DEFANT, F., 1972 : Klima und Wetter der Ostsee  
Kieler Meeresforsch. 28 (1)
- DEFANT, F., 1974 : Klima und Wetter , in : Meereskunde der Ost-  
see, Magaard und Reinheimer (Ed.), Springer 1974
- DEVIK, O., 1932 : Thermische und dynamische Bedingungen der Eis-  
bildung in Wasserläufen, auf norwegische Verhältnisse ange-  
wandt  
Geofys. Publikationer 9 (1)
- DICKSON, R.R., 1973 : The prediction of major Baltic inflows  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 26 : 97
- DIETRICH, G., 1950 : Die natürlichen Regionen von Nord- und Ost-  
see auf hydrographischer Grundlage  
Kieler Meeresforsch. 7 (2) : 35
- DIETRICH, G., 1951 : Oberflächenströmungen im Kattegat, im Sund  
und in der Beltsee  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 4 : 129
- DIETRICH, G., 1953 : Die Elemente des jährlichen Ganges der  
Oberflächentemperatur in der Nord- und Ostsee und den an-  
grenzenden Gewässern  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 6 (2) : 49
- DIETRICH, G., 1956, 1957 : German observations  
Annal. Biol. 11 : 73 und 12 : 108
- DIETRICH, G. und H. WEIDEMANN, 1952 : Strömungsverhältnisse in  
der Lübecker Bucht  
Die Küste 2 : 69
- DIETRICH, G., G. GRANQUIST, R. KÄNDLER, F. KOCZY, H. THOMSEN,  
1956, 1957 : Baltic Belt seas Hydrography  
Annal. Biol. 11 : 72 und 12 : 107
- DINGMAN, S.L., W.F. WEEKS, Y.C. YEN, 1968 : The effects of  
thermal pollution on river ice conditions  
Water Resour. Res. 4 (2) : 349  
and: Cold Regions Res. and Eng. Lab.; Res. Rep. 206 , Hanno-  
ver N.H. USA, 1967
- ECKEL, O., 1956 : Beitrag zum Studium des Wärmeumsatzes in Seen  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 9 : 120
- ECKEL, O. und H. REUTER, 1950 : Zur Berechnung des sommerlichen  
Wärmeumsatzes in Flußläufen  
Geografiska Annaler 32 : 188
- EDINGER, J.E. und C. GEYER, 1965 : Heat exchange in the environ-  
ment  
Cooling Water Studies for Edison Electric Inst. Res. Project  
No. 49, John Hopkins Univ., Baltimore Md. USA  
and Cooling Water Discharge Proj. Rep. No. 2 Edison Electric  
Inst. Publ. 65-902 New York

- EKMANN, V.W., 1923 : Über die Horizontalzirkulation winderzeugter Meeresströmungen  
Ark. Math. Astr. och Fys. 17 (26)
- EMMANUEL, C.B., 1975 : Drag and bulk aerodynamic coefficients over shallow water  
Boundary-Layer Meteorology 8 (3/4) : 465
- ERMEL, H., 1958 : See- und Küstenkarten Schleswig- Holsteins  
Kartographische Nachrichten 8 (5)
- FALKENMARK und MIKULSKI, 1975 : The Baltic Sea- a semienclosed sea as seen by the hydrologist  
Nordic Hydrology 6 : 115
- FLINSPACH, D. und H. FLEIG, 1972 : Die Aufstellung von Wärmelastplänen durch rechnerische Simulation der Wärmeaustauschvorgänge  
Wasserwirtschaft 62 (5)
- FONSELIUS, S.H., 1969 : Hydrography of the Baltic deep basins  
Fish. Board of Sweden, Ser. Hydrography 23
- FRANCKE, E. und P. HUPFER, 1963 : Über die mittlere diurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur und des Salzgehaltes im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee  
Beitr. z. Meeresk. 10 : 10
- FRANCKE, E. und D. NEHRING, 1971 : Vorläufige Betrachtungen über einen erneuten Salzwassereinbruch in die Ostsee im Februar 1969  
Beitr. z. Meeresk. 28
- GEMEINSAMES Komitee Flensburger Förde, 1974 : Untersuchungen der Flensburger Förde, Teilbericht 7 : Wasseraustausch  
Selbstverlag Amtshuset Aabenraa
- GEYER, D., 1965 : Eigenschwingungen und Erneuerung des Wassers in der Eckernförder Bucht unter besonderer Berücksichtigung der Sturmlage vom 5.-6. Dezember 1961  
Kieler Meeresforsch. 21 : 33
- GLOWINSKA, A., 1954 : Vertical currents in the Baltic Sea  
Rep. Sea Fish. Inst. Gdynia 7 : 153, Warszawa
- GOEDECKE, E., 1958 : Die Eisverhältnisse in den Belten und im Sund  
Handbuch für Belte und Sund 1958
- GOEDECKE, E., 1958 : Hydrographische Betrachtungen über die regionale Verteilung der mittleren Eisvorbereitungs- und Eisabschmelzzeit in der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee (mit Karten)  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 11 (1) : 1
- GOEDECKE, E., 1961 : German observations in the Western Baltic in 1959  
Annal. Biol. 16
- GRAMM, K., 1936/37 : Die Kieler Bucht als Vorfluter für städtische Abwässer  
Kieler Meeresforsch. 1 : 73
- GRANQUIST, G., 1952 : Harmonic analysis of temperature and salinity in the sea off Finland and changes in salinity  
Merentut. Julk. Havsforskn. Skrift. 152
- GRIESSEIER, H., 1953 : Über die Reflexion der diffusen Himmelsstrahlung an einer unbewegten Wasseroberfläche  
Acta Hydrophys. 1 (2) : 35

- GÜNNEBERG, F., 1973 : Abwärme im Gewässer  
Dt. Gewässerkundl. Mitt. 17 (1)
- GÜNNEBERG, F., 1974 : The total heat exchange coefficient of  
surface water  
IAEA - SM - 187/8
- GÜNNEBERG, F., 1976 : Abkühlungsvorgänge in Gewässern  
Dt. Gewässerkundl. Mitt. 20 (6) : 151
- GUSTAFSSON und B. KULLENBERG, 1936 : Untersuchungen an Träg-  
heitsströmungen in der Ostsee  
Svenske Hydr.-Biol. Komm. Skrifter, Ny Ser. Hydr. 13
- HANDBUCH der Ostsee IV, 1967, Teil: Allgemeines über Strömun-  
gen, Wasserstände etc.
- HANKIMO, J., 1964 : Some computations of the energy exchange  
between the sea and the atmosphere in the Baltic area  
Finnish Meteorol. Office Contrib. 57
- HANSEN, W., 1952 : Hydrographische Untersuchungen in der  
Lübecker Bucht  
Die Küste 2 : 90
- HASSE, L., 1963 : On the cooling of the sea surface by evapo-  
ration and heat exchange  
Tellus 15 (4) : 363
- HATJE, G., 1971 : Interne Eigenschwingungen der Eckernförder  
Bucht aus Temperaturmessungen mit der Unterwasserwinde  
Diplomarbeit Institut f. Meereskunde Univ. Kiel
- HATJE, G., 1976 : Strömungen in der Vejsnäsrinne 1975/76  
Rep. Sonderforsch.bereich 95 Univ. Kiel, Rep. 24
- HATJE, G., 1977 : Strömungen in der Vejsnäsrinne 1976/77  
Rep. Sonderforsch.bereich 95 Univ. Kiel, Rep. 31
- HELA, I., 1951 : On the energy exchange between the sea and the  
atmosphere in the Baltic area  
Annal. Acad. Sci. Fennica Ser. A 1 (97) : 1
- HELA, I., 1959 : Vertical structure of the waters in the Baltic  
Sea  
1 st Int. Oceanogr. Congress New York 1959, Reprints of  
abstracts of papers
- HELA, I., 1966 : Vertical eddy diffusivity of waters in the  
Baltic Sea  
Geophysica 2 (3) : 219
- HELA, I. und W. KRAUSS, 1959 : Zum Problem der starken Verän-  
derlichkeit der Schichtungsverhältnisse im Arkona-Becken  
Kieler Meeresforsch. 15 : 125
- HELA, I. und A. VOIPO, 1960 : Tracer dyes as a means of study-  
ing turbulent diffusion in the sea  
Annal. Acad. Sci. Fennica Ser. A VI Physica 69
- HELBIG und P. HUPFER, 1970 : Der fühlbare Wärmestrom zwischen  
Meer und Atmosphäre im Übergangsgebiet zwischen Nord- und  
Ostsee  
Veröffentlichungen Karl-Marx-Univ. Leipzig, Geophys. Inst.  
2. Serie 19 (4) : 376

- HELM, R., 1968 : Zum Problem der Strömungen im Fehmarnbelt  
Beitr. z. Meeresk. 22 : 25
- HELM, R., 1972 : Zur Windabhängigkeit der Strömungsrichtung  
im Fehmarnbelt  
Beitr. z. Meeresk. 29 : 29
- HICKS, B.B., 1975 : Procedure for the formulation of bulk  
transfer coefficients over water  
Boundary-Layer Meteorology 8 (3/4) : 515
- HIMUS und HINCHLEY, 1924 : Verdunstungsformel in: Chem. and  
Ind. 34
- HINDLEY, M.J. und R.M. MINER, 1972 : Evaluating water surface  
heat exchange coefficients  
Journ. Hydraulic Div. ASCE 98 : 1411
- HORCH, A., 1977 : Untersuchungen zur Warmwassereinleitung in  
Ostsee-Küstengewässer bei geringen Windstärken  
Diplomarbeit Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- HUBRICH, L.M., 1972 : Zur horizontalen Ausbreitung von konti-  
nuierlichen Abflüssen in das küstennahe Meer - am Beispiel  
einer Abwassereinleitung in die Kieler Bucht  
Kieler Meeresforsch. 28 : 162
- HUBRICH, L.M. und F. SCHOTT, 1975 : Austauschuntersuchungen  
in der Kieler Bucht  
Forschungsbericht Meeresforschung IfM Kiel BMFT-M75-05
- HUPFER, P., 1974 a: Über den mittleren Wärmehaushalt der ufer-  
nahen Zone der westlichen Ostsee  
Geophys. Veröff.Karl-Marx-Univ.Leipzig, 3.Ser. 1 (1) : 11
- HUPFER, P., 1974 b: Über die Eigenschaften des Wassertempera-  
turfeldes in der ufernahen Zone der westlichen Ostsee  
Geophys. Veröff.Karl-Marx-Univ.Leipzig, 3.Ser. 1 (1) : 59
- HUPFER, P., 1975 : Marine climatic fluctuations in the Baltic  
Sea since 1900  
Zeitschr. f. Meteorol. 25 (2) : 85
- HUPFER, P., 1976 : On remarkable temperature stratification  
in the near shore zone of the Baltic Sea  
Okeanologija 16 (4) : 599
- HUPFER, P. und H.U. LASS, 1971 : Zur Bestimmung horizontaler  
Austauschkoeffizienten in der ufernahen Zone des Meeres  
Wiss.Zeitschr. Karl-Marx-Univ.Leipzig Math.-Nat.R.20(4/5):671
- HUPFER, P. und H.U.LASS, 1972: Temperaturfeld und horizonta-  
ler turbulenter Wärmeaustausch in der ufernahen Zone des  
Meeres  
Beitr. z. Meeresk. 30/31 : 127
- JACOBS, W.C., 1942 : On the energy exchange between sea and  
atmosphere  
Journ. Mar. Res. 5 (1) : 37
- JACOBS, W.C., 1951 : The energy exchange between sea and atmos-  
phere and some of its consequences  
Scripps Inst. of Oceanogr.,La Jolla, Bulletin 6 (2)
- JACOBSEN, J.P., 1908: Mittelwerte von Temperatur und Salzgehalt  
Medd.fra Kommissionen f.Havundersøgelser, Ser.Hydr. 1 (10)



- JACOBSEN, J.P., 1913 : Beitrag zur Hydrographie der dänischen Gewässer  
Medd. fra Kommissionen f. Havundersogelser, Ser. Hydr. 2 (2/3)
- JENSEN, A.C., 1937: Fluctuations in the hydrography of the transition area during 50 years  
Rapp. et Proc.-Verb. 102
- KAHLIG, P., 1973 : Zur theoretischen Begründung einiger Verdunstungsformeln  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 22 (4) : 409
- KÄNDLER, R., 1951: Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 4 : 150
- KÄNDLER, R., 1952 : Hydrographische Untersuchungen zum Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostseeküste Schleswig-Holsteins  
Kieler Meeresforsch. 9 : 176
- KÄNDLER, R., 1955 : Cruises with R/V Südfall  
Annal. Biol. 12 : 109
- KÄNDLER, R., 1956 : German observations - The Baltic and the Belts  
Annal. Biol. 11 : 72
- KÄNDLER, R., 1959 : Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde  
Kieler Meeresforsch. 15 : 145
- KÄNDLER, R., 1960 : Typen der Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde  
Kieler Meeresforsch. 16 : 164
- KÄNDLER, R., 1963 : Hydrographische Untersuchungen über die Abwasserbelastung der Flensburger Förde  
Kieler Meeresforsch. 19 : 142
- KÄNDLER, R. und H. WATTENBERG, 1939 : Einige Ergebnisse der Untersuchungsfahrten mit dem Reichsforschungsdampfer "Poseidon" in der westlichen Ostsee 1938  
Ber. Dt. Wiss. Komm. f. Meeresforsch. 9 : 540
- KALEIS, M.V. und E.A. YULA, 1974 : Hydrographic regime of the Baltic in 1971 and 1972  
Annal. Biol. 29 : 33
- KAMINSKI, H., 1972 : Erfassung der Abwasserzuflüsse und deren Flächenverteilung im Englischen Kanal, der Nord- und Ostsee durch Bestimmung der Oberflächentemperatur des Meeres mittels Infrarot - Satellitenluftbildern  
Sternwarte Bochum, Institut für Weltraumforschung
- KANGOS, J.D., 1960 : A preliminary investigation of the heat flux from the oceans to the atmosphere in the antarctic regions  
Journ. Geophys. Res. 65 (12) : 4007
- KANNENBERG, E.G., 1953 : Die Grundlagen zur Betrachtung der schleswig-holsteinischen Ostseeküste  
Schriften Geograph. Inst. Kiel 14 : 13

- KANNENBERG, E.G., 1956 : Extremwasserstände an der deutschen Beltseeküste im Zeitraum 1901 - 1954  
Schriften Naturwiss. Verein. Schl.-Holst. 28 (1)
- KENNEDY, R.E., 1949 : Computation of daily insolation energy  
Bull. Am. Meteorol. Soc. 30 (6)
- KIELMANN, J., W. KRAUSS, K.H. KEUNECKE, 1973 : Currents and stratification in the Belt Sea and the Arkona Basin during 1962 - 1968  
Kieler Meeresforsch. 29 (2) : 90
- KIEKSEE, H., 1952 : Die Ostsee-Sturmflut 1872  
Schriften Dt. Schiffahrtsmuseum Bremerhaven 2
- KIMBALL, H.H., 1928 : Amount of solar radiation that reaches the surface of the earth on the land and on the sea, and methods by which it is measured  
Monthly Weather Rev. 56 (10) : 393
- KITAIGORODSKIJ, S.A., O.A. KUZNETSOV, G.N. PANIN, 1973 : On the coefficients of drag, sensible heat and evaporation in the atmosphere over the sea surface  
Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Atmos. Okeana 9 (11) : 1135
- KLAGHOFER, E., 1974 : Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von einer freien Wasserfläche, von einem unbewachsenen Boden und einem bewachsenen Boden  
Mitt. Bundesversuchsinst. f. Kulturtechnik und Techn. Bodenkunde 22 Patzenkirchen
- KOBE, G., 1934 : Der hydrographische Aufbau und die dadurch bedingten Strömungen im Kattegat  
Veröff. Inst. Meeresk. Berlin, N.F. A , Geogr.-Naturwiss. Reihe 26
- KOHLER, M.A., 1954 : Lake and pan evaporation  
Water loss investigations : Lake Hefner Studies  
U.S. Geol. Survey Prof. Paper 269 : 127
- KOHLER, M.A., : Lake Hefner Studies 1955  
U.S. Weather Bureau Res. Paper 38 : 2
- KOOPMANN, G., 1959 : German observations of the hydrographic conditions in the western Baltic 1957  
Annal. Biol. 14
- KOOPMANN, G., 1960 : German observations in the western Baltic in 1958  
Annal. Biol. 15
- KOWALIK, Z., 1966 : Influence of the density stratification on dynamical processes in the Baltic (poln., summary in engl.)  
Acta Geophys. Polonica 4
- KOWALIK, Z., 1969 : Wind-driven circulation in a shallow sea with application to the Baltic Sea  
Acta Geophys. Polonica 17 : 13  
und Dt. Hydrogr. Zeitschr. 25 : 265 (1972)
- KOWALIK, Z. und S. TARANOWSKA, 1967 : Horizontal large-scale turbulence in the Baltic Sea  
Cahiers Oceanogr. 19 (4) : 1

- KRAUSE, G., 1969 : Ein Beitrag zum Problem der Erneuerung des Tiefenwassers im Arkona-Becken  
Kieler Meeresforsch. 25 : 268
- KRAUSS, W., 1966 : Die Spektren der Temperaturschwankungen und der Strömung im Gebiet nordwestlich von Fehmarn  
Kieler Meeresforsch. 22 : 35
- KRAUSS, W., 1967 : Zum System der internen Seiches der Ostsee  
Kieler Meeresforsch. 19 (2) : 119
- KRAUSS, W. und L. MAGAARD, 1962 : Zum System der Eigenschwingungen der Ostsee  
Kieler Meeresforsch. 18 (2) : 184
- KREMSER, U. und W. MATTHÄUS, 1973 : Grundlagen und Methoden zur Berechnung mittlerer vertikaler Wärmeaustauschkoeffizienten in der Ostsee  
Gerlands Beitr. z. Geophys. 82 (2) : 128
- KREMSER, U. und W. MATTHÄUS, 1973 : Average vertical coefficients of turbulent heat exchange in the Baltic Sea  
Okeanologija 13 (5) : 634
- KREY, J., 1959 : Über den Gehalt an gelöstem anorganischen Phosphor in der Kieler Förde  
Kieler Meeresforsch. 15 : 17
- KRÜMMEL, O., 1911 : Handbuch der Ozeanographie Bd. II
- KRUG, J., 1963 : Erneuerungen des Wassers in der Kieler Bucht im Verlauf eines Jahres am Beispiel 1960/61  
Kieler Meeresforsch. 19 : 158
- KUHN, W., 1972 : Physikalisch-meteorologische Überlegungen zur Nutzung der Gewässer für Kühlzwecke  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 21 : 95
- KULLENBERG, B., 1955 : Restriction of the underflow in a transition  
Tellus 7 (2) : 215
- KULLENBERG, G., 1968 : Measurements of horizontal and vertical diffusion in coastal waters  
Rep. Inst. Fys. Oceanogr. Kopenhagen Univ. 3
- KULLENBERG, G., 1971 : Vertical diffusion in shallow waters  
Tellus 23 (2) : 129
- KULLENBERG, G., 1974 : Investigation of small vertical mixing in relation to the temperature structure in stably stratified waters  
Adv. Geophys. A 18 : 339
- KULLENBERG, G., 1974 : Investigations on dispersion in stratified vertical shear flow  
ICES Rapp. et Proc.-Verb. 167 : 86
- KULLENBERG, G., 1976 : Interim report on mixing studies  
Miliøstyrelsen Bæltprojektet : 83  
Miliøstyrelsen Kampmannsgarde 1, 1604 København V
- KUZMIN, P.P., 1938 : Wärmeaustausch zwischen Meeresoberfläche und Atmosphäre mittels Konvektion (russ.)  
Meteorol. e Gidrol. 2

- LAEVASTU, T., 1960 : Factors affecting the temperature of the surface layer of the sea  
Soc. Sci. Fennica, Commentationes Phys.-Math. 25 : 1
- LAEVASTU, T., L. CLARKE, P.M. WOLFF, 1969 : The oceanic part in the hydrological cycle  
WMO Rep. 11 , Report on WMO/IHD Projects 1969
- LAEVASTU, T., L. CLARKE, P.M. WOLFF, 1970 : Annual cycles of heat in the northern hemisphere oceans and heat distribution by ocean currents  
Techn. Note 53, Fleet Miner Weather Fac., Monterey
- LAKE HEFNER STUDIES, 1955 : in Kohler, 1955 s.d.
- LAKE HEFNER STUDIES, 1965 : in Edinger und Geyer, 1965 s.d.
- LAKE COLORADO CITY, 1965 : in Edinger und Geyer, 1965 s.d.
- LANGE, W., 1974 : Zu den Ursachen langperiodischer Strömungsänderungen im Fehmarnbelt  
Diplomarbeit Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- LANGE, W., T. MÜLLER, H. RAETHJEN, G. SIEDLER, 1975 : Untersuchungen zum Wasseraustausch in der Kieler Bucht  
Bundesministerium f. Forsch. und Techn., BMFT+FB M 75+06
- LAPWORTH, C.F., 1947 : Evaporation from a water surface  
Water 50 : 288 London
- LAWA, 1971 : Grundlagen für die Beurteilung der Wärmebelastung von Flüssen  
Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Wiesbaden
- LENZ, J., 1965 : Zur Ursache der an die Sprungschicht gebundenen Echostreuschichten in der westlichen Ostsee  
DWK - Berichte 18 (2) : 111
- LENZ, W., 1971 : Monatskarten der Temperatur der Ostsee dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 11 Ergänzungsheft
- LEVEN, 1942 : Verdunstungsformel in: Wärme-u. Kältetechnik  
11 : 161
- LINKE, F. und F. BAUR, 1962 : Meteorologisches Taschenbuch  
Leipzig, 2. Auflage 1962
- LIVINGSTON, G.J., 1908 : An annotated bibliography of evaporation  
Monthly Weather Rev. 36 : 181, 301, 375
- LÖNNQUIST, O., 1954 : Synthetic formula for estimating effective radiation to a cloudless sky and their usefulness in comparing various estimation procedures  
Ark. Geofys. 2 (12) : 247
- LORENZ, D., 1973 : Die radiometrische Messung der Boden- und Wasseroberflächentemperatur und ihre Anwendung insbesondere auf dem Gebiet der Meteorologie  
Zeitschr. f. Geophys. 39 (5) : 627
- LÜTGENS, R., 1910 : Weitere Untersuchungen über die Verdunstung auf dem Meer  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 38 : 267
- LÜTGENS, R., 1911 : Die Verdunstung auf dem Meer  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 39 : 410

- LUNELUND, H., 1933 : Record of solar radiation in Helsingfors  
Soc. Sci. Fennica, Commentationes Phys.-Math. 1 : 7
- LURIE und MICHAÏLOFF, 1936 : Verdunstungsformel in:  
Gesundheitsingenieur 21 : 289
- MACHENS, R., 1949 : Zur Frage der Zirkulation in der Kieler Bucht  
Schr. Naturwiss. Verein. Schl.-Holst. 24 (1)
- MÄE, H., 1928 : Über die Temperatursprünge der Ostsee  
Sitzungsber. Akad. d. Wiss. in Wien 137 (1/2)
- MAGAARD, L., 1974 : Wasserstandsschwankungen und Seegang  
in: Meereskunde der Ostsee, Magaard und Reinheimer (Ed.),  
Springer 1974
- MAGAARD, L. und G. REINHEIMER, 1974 : Meereskunde der Ostsee  
Springerverlag Berlin, Heidelberg, New York 1974
- MALKKI, P., 1975 : On the variability of currents in a coastal  
region of the Baltic  
Merentut. Jülik. 240 : 3
- MAKEROV, J.V., 1961 : Die Wärmebilanz des Schwarzen Meeres  
Trudy GOIN 61 : 169 (russ.)
- MANEGOLD, W., 1936 : Die Wetterabhängigkeit der Oberflächen-  
strömungen in den Pforten der Ostsee  
Archiv Dt. Seewarte 54 (4) : 1
- MANIER, G., 1962 : Zur Berechnung der latenten und fühlbaren  
Wärmeströme von der Meeresoberfläche an die Luft  
Geofisica pura e applic. 52 : 189 Milano
- MARKGRAF, H., 1962 : Einige Methoden und Probleme aus dem  
Bereich der maritimen Meteorologie  
Deutscher Wetterdienst Seewetteramt Hamburg, Einzelver-  
öffentlichung 33
- MASUZAWA, J., 1952 : On the heat exchange between sea and  
atmosphere in the southern sea of Japan  
Oceanogr. Mag. 4 (2) : 49
- MATTHÄUS, W., 1973 : Zur Hydrographie der Gotlandsee II : Der  
mittlere Jahresgang der Temperatur in Oberflächennähe  
Beitr. z. Meeresk. 32 : 105
- MATTHÄUS, W., 1977 : Zur mittleren jahreszeitlichen Verände-  
rung der Temperatur in der offenen Ostsee  
Beitr. z. Meeresk. 40 : 117
- MATTHÄUS, W., M. STURM, E. FRANCKE, 1975 : Einige Aspekte des  
thermischen Regimes der Ostsee im Sommer 1975 am Beispiel  
der Bornholmsee  
Zeitschr. f. Meteorol. 26 (6) : 360
- MATTHÄUS, W. und U. KREMSER, 1976 : Die Berechnung mittlerer  
vertikaler Austauschkoefizienten in der Ostsee auf der  
Grundlage von Sauerstoffkonzentrationen  
Beitr. z. Meeresk. 37 : 111
- MATZKE, H., 1953 : Beiträge zur Kenntnis der Globalstrahlung  
in Greifswald  
Abhandlungen MHD, DDR 2 (16)

- MAYER, H. und O. WALK, 1973 : Änderungen des Energiehaushaltes einer Wasseroberfläche durch Einleiten von erwärmtem Wasser  
Meteorol. Rundschau 26 (2) : 52
- MEINARDUS, W., 1934 : Die Niederschlagsverteilung auf der Erde  
Meteorol. Zeitschr. 51
- MEYER, 1965 : in Edinger und Geyer, 1965 s.d.
- MICHAJLOV, J.D., 1972 : Wahrscheinliche Kennzeichen küstennaher Strömungen im Baltischen Meer  
Trudy Gosudarstv. Okeanogr. Inst. 110
- MILLAR, F.G., 1937 : Evaporation from free water surfaces  
Canadian Meteorol. Mem. 1 : 41
- MITTELSTAEDT, E., 1966 : Zur Feinstruktur der Fronten im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee  
Diplomarbeit Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- MIYAZAKI, M., 1949 : The incoming and outgoing heat at the surface along the Tusima warm current  
Oceanogr. Mag. 1 : 103
- MÖLLER, F., 1951 : Die Verdunstung als geophysikalisches Problem  
in: Linkes Meteorologisches Taschenbuch Bd. 2 , Leipzig
- MÖLLER, F., 1953 : Tabellen zur atmosphärischen Strahlung und Optik  
in: Linkes Meteorologisches Taschenbuch Bd.2, Leipzig
- MONIAK, J., 1959 : Isochromes of the Baltic Sea on the basis of its climatic and oceanographic conditions (poln.)  
Acta Geophys. Polonica Warschau 7 (3/4) : 367
- MORTON, F.I., 1975 : Estimating evaporation and transpiration from climatological observations  
Journ. Appl. Meteorol. 14 (4) : 488
- MOSBY, H., 1932 : Sunshine and radiation, the Norwegian polar expedition with the "Maud" 1918-25  
Scient. Results 1 (7)
- MOSBY, H., 1936 : Verdunstung und Strahlung auf dem Meere  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 64 : 281
- MOSBY, H., 1960 : Evaporation from the oceans : Introduction to Symposium on the water balance of the earth  
Procès- Verbaux 7
- MÜLLER-GLEWE, J. und H. HINZPETER, 1974 : Measurements of the turbulent heat flux over the sea  
Boundary-Layer Meteorol. 6 (1/2) : 47
- MÜNZER, E.B., 1969 : Das Eindringen des täglichen Temperaturganges in das Meer aus Messungen in der Eckernförder Bucht  
Dissertation Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- MÜNZER, E.B., 1970 : Die Temperaturschichtung in der Eckernförder Bucht während der Frühjahrserwärmung  
Kieler Meeresforsch. 26 : 43
- MUNK, W.H., 1947 : A critical windspeed for air-sea boundary processes  
Journ. Mar. Res. 6 : 203

- NEHRING, D. und E. FRANCKE, 1971 : Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70  
Fisch.-Forsch. 2 (1) : 35
- NEUMANN, G., 1940 : Mittelwerte längerer und kürzerer Beobachtungsreihen des Salzgehaltes bei den Feuerschiffen im Kattegat und in der Beltsee  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 68 (11) : 373
- NEUMANN, G., 1941 : Eigenschwingungen der Ostsee  
Archiv Dt. Seewarte und Marineobserv. 61 (4)
- NEUMANN, G., 1948 : Über den Tangentialdruck des Windes und die Rauigkeit der Meeresoberfläche  
Zeitschr. f. Meteorol. 2 (7/8) : 193
- NEUMANN, J. und N. ROSENAN, 1954 : The Black Sea : energy balance and evaporation  
Trans. Am. Geophys. Union 35 (5) : 767
- NEUWIRTH, F., 1974 : Über die Brauchbarkeit empirischer Verdunstungsformeln, dargestellt am Beispiel des Neusiedler Sees nach Beobachtungen in Seemitte und Ufernähe  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. B 22 (4) : 233
- NEUWIRTH, F., 1975 : Die Abhängigkeit der Verdunstung einer freien Wasserfläche (Neusiedler See) von meteorologischen Einzelelementen  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 24 (1) : 53
- NEWTON, R.S., 1970 : Tiefenkarte der Kieler Bucht (unveröff.)  
Archiv Geol. Inst. Univ. Kiel
- NORRIS, R., 1948 : Evaporation from extensive surfaces of water roughened by waves  
Quart. Journ. Roy. Meteorol. Soc. 74 (319) : 1
- NUSSER, F., 1952 : Eisverhältnisse an den Küsten der Nord- und Ostsee  
Landolt-Börnstein Bd. 3, Astronomie und Geophysik : 534  
Springer 1952
- NUSSER, F., 1956 : Atlas der Eisverhältnisse der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee  
Deutsches Hydrographisches Inst. Hamburg, Nr.2334
- NUSSER, F., 1958 : Zusammenhang zwischen Großwetterlage und Eisvorkommen an den deutschen Küsten  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 11 (5) : 185
- OHL, H., 1959 : Temperatur- und Salzgehaltsmessungen an der Oberfläche des Kieler Hafens in den Jahren 1952-57  
Kieler Meeresforsch. 15 : 157
- OKADA, T., 1903 : Vergleichende Messungen der Verdunstung des Meerwassers und Süßwassers  
Meteorol. Zeitschr. 20 : 380
- OKUDA, S. und S. HAYAMI, 1959 : Experiments on evaporation from wavy water surface  
Rec. of Oceanogr. Works in Japan 5 (1)
- PALMEN, E. und E. LAURILA, 1938 : Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand im nördlichen Ostseegebiet  
Soc. Sci. Fennica, Commentationes Phys.-Math. 10 (1)

- PAULSON, C. und T. PARKER, 1972 : Cooling of the water surface by evaporation, radiation and heat transfer  
Journ. Geophys. Res. 77 : 491
- PENMAN, H.L., 1948 : Evaporation in nature  
Rep. Progr. Phys. 11 : 366 London
- PENMAN, H.L., 1956 : Estimating evaporation  
Trans. Am. Geophys. Union 37 (1) : 43
- PETERSON, H. von, 1971 : Zur Frage des Einflusses der winterlichen Salzgehaltsschwankungen auf die Eisbildung vor der Darßer Küste  
Acta Hydrophys. 16 (2) : 95
- PIERSON, F.W., und A.P. JACKMAN, 1975 : Investigation of the predictive ability of several evaporation equations  
Journ. Appl. Meteorol. 14 (4) : 477
- POPOV, S.M. und S.A. RJAZANOV, 1961 : Die Bedeutung der effektiven Ausstrahlung im Wärmehaushalt des Ozeans (russ.)  
Izv. AN SSSR, Ser. Geofiz. 2 : 281
- POWELL, W.M. und G.L. CLARKE, 1936 : The reflection and absorption of daylight at the surface of the ocean  
Journ. Opt. Soc. Am. 26 : 111
- PRAHM, G., 1972 : Hydrographic conditions in the Western Baltic in 1971 and 1972  
Annal. Biol. 29
- PRATJE, O., 1939 : Die Sedimentation in der südlichen Ostsee  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 67 : 209
- PRIVETT, D.W., 1960 : The exchange of energy between the atmosphere and the oceans of the southern hemisphere  
Geophys. Mem. 104 : 3
- PROCEEDINGS of the 3 rd Baltic symposium on Marine Biology, Helsinki June 1973  
Merentut. Julik. Havsforsk. Skrift 239
- PRUSENKOV, A.S., 1962 : Die Verdunstung von der Oberfläche des Schwarzen Meeres (russ.)  
Okeanologija 2 (1) : 51
- REICHEL, E., 1952 : Der Stand des Verdunstungsproblems  
Ber. Dt. Wetterdienst U.S. Zone 35 : 155
- RICHTER, D., 1975 : Vergleichende Betrachtungen verschiedener Methoden zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen  
Zeitschr. f. Meteorol. 25 (2) : 117
- RIMSHA, V.A. und R.V. DONCHENKO, 1957 : The investigation of heat loss from free water surfaces in wintertime (russ.)  
Trudy Leningrad Gosud. Gidrol. Inst. 65 : 54
- ROHWER, C., 1931 : Evaporation from free water surfaces  
Agriculture, Techn Bull. 217
- ROLL, H.U., 1953 : Beaufort-Äquivalente auf See bei verschiedenen Schichtungen, angewendet auf die Bestimmung der Windschubspannung an der Meeresoberfläche  
Annal. d. Meteorol. 6 (7/8) : 193



- RUPPIN, E., 1912 : Beitrag zur Hydrographie der Belt- und Ostsee  
Wiss. Meeresuntersuchungen, N.F. 14 Kiel
- SAGER, G., 1972 : Windwirkklängen in der Ostsee  
Beitr. z. Meeresk. 29 : 53
- SAMOJLENKO, V.S., 1946 : Bestimmung des Wärmeaustausches zwischen Wasseroberfläche und Atmosphäre (russ.)  
Dkl. GOIN 5
- SAMOJLENKO, V.S., 1952 : Die gegenwärtige Theorie der ozeanischen Verdunstung und ihre praktische Anwendung (russ.)  
Trudy GOIN 21/33
- SAMOJLENKO, V.S., 1959 : Die Entstehung der Temperaturverhältnisse der Meere (russ.)  
Gidrometeoizdat, Moskau
- SCHMIDT, W., 1915 : Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 43 (111) : 169
- SCHMIDT, W., 1916 : Zur Frage der Verdunstung  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 44 : 136
- SCHMITZ, H.P., 1963 : Erweiterte Grundgleichungen zur Bestimmung der Verdunstung auf dem Meer aus dem klein- und großräumigen Feuchteausaustausch  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 16 (2) : 105
- SCHULZ, B., Die Durchlüftung der Nord- und Ostsee  
Die Naturwissenschaften 6 : 105
- SCHWEIZER KÜHLWASSERBERICHT, 1968 : Verdunstungsformel  
Eidgen. Dept. d. Innern: Gewässerschutztechn. Gesichtspunkte im Zusammenhang mit der Kühlwasserentnahme bei konventionell- und nuklearthermischen Kraftwerken
- SEIBOLD, E., 1963 : Geological investigations of nearshore sandtransport, Examples of methods and problems from the Baltic and North Seas in:  
M. Sears (Ed.) : Progress in Oceanography Bd. I 1963
- SEIBOLD, E., N. EXON, M. HARTMANN, F.C. KÖGLER, H. KRUMM, G.F. LUTZE, R.S. NEWTON, F. WERNER, 1971 : Marine Geology of Kiel Bay, Sedimentology of parts of Europe  
Guidebook VIII, Int. Sediment. Congress 1971
- SHULEJKIN, V.V., 1932 : Physik des Meeres (russ.)  
Izd. AN SSSR , 1. Auflage
- SHULEJKIN, V.V., 1959 : Kurzer Kursus zur Physik des Meeres  
Gidrometeoizdat, Leningrad (russ.)
- SHULEJKIN, V.V., V.F. GUŠČIN, PESKOV, 1958 : Schwankungen der Wärmebilanz des Atlantischen Ozeans (russ.)
- SIEDLER, G. und G. HATJE, 1974 : Temperatur, Salzgehalt und Dichte in:  
Meereskunde der Ostsee, Magaard und Reinheimer (Ed.), Springer
- SIMOJOKI, H., 1948 : On the evaporation from the northern Baltic  
Geophysica 3 : 123

- SLADE, D.H., 1968 : Meteorology and atomic energy  
U.S. AEC July 1968
- SOSKIN, I.M., 1963 : Langjährige Änderungen der hydrologischen  
Charakteristika der Ostsee  
Gidrometeoizdat
- SOSKIN, I.M., 1964 : Berechnungsschema von winderzeugten Strömungen im Baltischen Meer (russ.)  
Trudy Gosudarstv. Okeanogr. Inst. 81 : 54
- SPETHMANN, H., 1914 : Studien zur Ozeanographie der südwestlichen Ostsee  
I. Hydrogr. Suppl., Int. Rev. d. Ges. Hydrogr. u. Hydrobil. 5
- SPRENGER, 1943 : Verdunstungsformel in:  
Heizung und Lüftung 1 : 7
- SPURR, G. und R.A. SCRIVEN, 1974 : British experience of the physical behaviour of heated effluents in the atmosphere and various types of aquatic systems  
IAEA-SM-187/2 August 1974 Oslo
- STEIN, K., 1970 : Atlas für Hydrographie und Schallwetter in der Eckernförder Bucht  
Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr, Eckernförde
- STEJNBACH, B.V., 1970 : Zur Frage über den Verteilungsmodul der Stromgeschwindigkeit in der Küstenzone des baltischen Meeres  
Trudy Gosudarstv. Okeanogr. Inst. 98 : 174
- STOCKS, T., 1958 : Die Tiefenverhältnisse der umgebenden Seegebiete Schleswig-Holsteins  
Vortrag 8. Dt. Kartographentag, Rendsburg 2.10.1958
- STRAROV, D.K., 1955 : On the question of evaporation from the sea  
Meteorologija i Hidrologija 6 : 35
- STROKINA, L.A., 1956 : Der turbulente Wärmeaustausch mit der Atmosphäre und die Verdunstung von der Oberfläche der Ostsee  
Meteorologija i Hidrologija 5 : 55
- STURM, M., 1963 : Über Methoden zur empirischen Berechnung der Hauptkomponenten des Wärmehaushaltes der Meeresoberfläche aus mittleren hydrometeorologischen Daten  
Beitr. Z. Meeresk. 9 : 36
- STURM, M., 1968 : Untersuchungen der Wärmebilanz der südlichen Ostsee im Bereich des Feuerschiffes "Fehmarnbelt"  
Tellus 20 (3) : 485
- STURM, M., 1970 : Zum Wärmehaushalt der Ostsee im Bereich der südlichen Beltsee (Fehmarnbelt)  
Beitr. z. Meeresk. 27 : 47
- STURM, M., 1970 : Zur Frage des horizontalen Wärmestroms zwischen Nord- und Ostsee  
Monatsber. Dt. Akad. Wiss. Berlin 12 : 267
- STURM, M., 1971 : Extremsituationen im Wärmehaushalt der südlichen Ostsee (Fehmarnbelt) und ihre Beziehungen zur Großwetterlage  
Beitr. z. Meeresk. 28 : 91

- SVANSSON, A., 1958 : Some computations of water heights and currents in the Baltic  
Tellus 1 (2)
- SVANSSON, A., 1975 : Physical and chemical oceanography of the Skagerak and Kattegat, I. Open sea conditions  
Fish. Board of Sweden, Inst. Mar. Res. Rep. 1
- SVANSSON, A., 1975 : Interaction between the coastal zone and the open sea  
Merentut. Julik. 239 : 11
- SVERDRUP, H.U., 1936 : Das maritime Verdunstungsproblem  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 64 : 41
- SVERDRUP, H.U., 1937 : On the evaporation from the oceans  
Journ. Mar. Res. 1 : 3
- SVERDRUP, H.U., 1944 : On the ratio between heat conduction from the sea surface and heat used for evaporation  
Scripps Inst. of Oceanogr. La Jolla, Contrib. 202
- SVERDRUP, H.U., 1945 : Oceanography for meteorologists  
G. Allen und Unwin, London
- SVERDRUP, H.U., 1951 : Evaporation from the oceans  
in: Compendium of Meteorology, Boston, Mass. 1960,  
Am. Meteorol. Soc. : 1075
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON, R.H. FLEMING, 1942 : The oceans, their physics, chemistry and general biology  
Prentice Hall, New York
- SWINBANK, W.C., 1959 : Evaporation from the oceans  
Chicago Univ. Dept. of Meteorol., Contract AF 19 (604)-2179  
Scientific Rep. 12
- SYDOW, E., 1943 : Registrierungen der Globalstrahlung mit dem Linke-Sternpyranometer an der Nordsee  
Biol. Beibl. 10 : 4
- THIEL, G., 1943 : Einiges über die Ergebnisse von Strombeobachtungen in der westlichen Ostsee  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 71 : 226
- THIEL, G., 1953 : Die Wirkungen des Luft- und Winddruckes auf den Wasserstand der Ostsee  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 6 (3) : 107
- THIEL, G., 1962 : Die Sturmfluten der Nord- und Ostsee  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 17 : 174
- THIESENHUSEN, 1930 : Verdunstungsformel in: Gesundheitsing in: Gesundheitsingenieur 8 : 113
- THOMSEN, H., 1952-1960 : Danish Waters  
Annal. Biol. 8 - 15
- THORADE, H., 1943 : Über den Gezeitenstrom im Fehmarnbelt  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 71 : 231
- THORNTHWAITTE, C.W. und B. HOLZMAN, 1939 : The determination of evaporation from land and water surfaces  
Monthly Weather Rev. 67 (1) : 4
- TOMCZAK, G., 1965 : Der thermohaline Aufbau der Zirkulationsverhältnisse im Skagerak  
Vortrag, Geophysik. Kolloqu., Univ. Hamburg, 25.2.1965

- TOMCZAK, M., 1969 : Über interne Trägheitsbewegungen in der westlichen Ostsee  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 22 : 158
- TRABERT, W., 1896 : Neuere Beobachtungen über die Verdunstungsgeschwindigkeit  
Meteorol. Zeitschr. 13 : 261
- UHLIG, S., 1954 : Berechnung der Verdunstung aus klimatologischen Daten  
Mitteilungen d. Dt. Wetterdienstes 1 (6) : 1 Offenbach
- VISWANATHAN, R., 1960 : Salzgehalt, Temperatur und Seston in der Kieler Förde 1956 und 1957  
Kieler Meeresforsch. 16 : 48
- VOGEL, I.L. und F.A. HUFF, 1975 : Fog effects resulting from power plant cooling lakes  
Journ. Appl. Meteorol. 14 (5) : 868
- VOLLBRECHT, K., 1957 : Die Beziehungen zwischen Windrichtung und materialversetzender Wellenenergie  
Acta Hydrophys. 4 (1) : 49
- VOLLBRECHT, K., 1966 : The relationship between windrecord, energy of longshore drift and energy balance off the coast of a restricted body of water, as applied to the Baltic Mar. Geol. 4 : 119
- VOSKANYAN, A.G., A.A. PIVOVAROV, G. KHUNDZHUA, 1970 : Experimental studies of the thermal structure and turbulent heat exchange in the surface of the sea  
Oceanology 10 : 449
- WAGNER, A., 1931 : Zur Frage der Verdunstung  
Gerlands Beitr. z. Geophysik 34 : 85
- WALDEN, H., 1960 : Der Seegang bei den Feuerschiffen "Kiel", "Flensburg" und "Fehmarnbelt"  
Dt. Wetterdienst-Seewetteramt Hamburg, Einzelveröff. 26
- WALDEN, H., 1965 : Die Windgeschwindigkeitsäquivalente der Beaufortgrade nach Beobachtungen deutscher Bordwetterwarten  
Dt. Wetterdienst-Seewetteramt Hamburg, Einzelveröff. 47
- WALDEN, H., 1969 : Probleme bei der Festlegung von Äquivalentwerten zwischen gemessenen Windgeschwindigkeiten und geschätzten Beaufortstufen  
Dt. Wetterdienst-Seewetteramt Hamburg, Einzelveröff. 65
- WARTENA, L., 1974 : Basic difficulties in predicting evaporation  
Journ. of Hydrology 23 (1/2) : 159 Amsterdam
- WATTENBERG, H., 1940 : Der hydrographisch-chemische Zustand der Ostsee im Sommer 1939  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 68 : 185
- WATTENBERG, H., 1941 : Über die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 69 : 265
- WATTENBERG, H., 1949 : Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom- und Wetterlage  
Kieler Meeresforsch. 5 (2) : 17

- WEFER, W. und Tauchgruppe Kiel, 1974 : Topographie und Sedimente im "Hausgarten" der SFB 95 der Universität Kiel  
Meyniana 26 : 3
- WEGEMANN, G., 1919 : Die Verwendbarkeit von Vierteljahresbeobachtungen der Wassertemperatur und des Salzgehaltes in dem Gebiet zwischen Nord- und Ostsee  
Wissenschaftl. Meeresuntersuch. N.F. 19 Kiel 1919-22
- WEIDEMANN, H., 1948 : Über unperiodische und periodische Vorgänge beim Wasseraustausch der Beltsee  
Dissertation Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- WEIDEMANN, H., 1950 : Untersuchungen über unperiodische und periodische Vorgänge in der Beltsee  
Kieler Meeresforsch. 7 : 70
- WEIDEMANN, H., 1955 : Strömungsuntersuchungen im Fehmarnsund  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 8/9 : 89
- WERENSKJÖLD, W., 1935 : Coastal currents  
Geofys. Publ. 10 (13)
- WERENSKJÖLD, W., 1937 : Die Berechnung von Meeresströmungen  
Annal. Hydrogr. und Marit. Meteorol. 65 (2) : 68
- WERNER, F., W.E. ARNTZ und Tauchgruppe Kiel, 1974 : Sedimentation und Ökologie eines ruhenden Riesenrippelfeldes  
Meyniana 26 : 39
- WILMOT, W., 1974 : A numerical model of gravitational circulation in the Baltic  
Proc. 9 th Conf. of Baltic Oceanogr. 1974 : 73
- WITTIG, H., 1953 : Der mittlere jährliche Gang des Salzgehaltes in der Kieler und Mecklenburger Bucht  
Kieler Meeresforsch. 2 (2)
- WITTING, R., 1912 : Die Hydrographie der Ostsee  
Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde Berlin 10 : 1
- WITTING, R., 1933 : Zur Bestimmung der Mischung im Meer  
Soc. Sci. Fennica, Commentationes Math.-Phys. 7 (2)
- WITTSTOCK, R., U. SCHAUER, G. SCHALLER, 1978 : Strömungen in der Vejsnäsrinne 1977/78  
Rep. Sonderforschungsbereich 95 Univ. Kiel 45
- WMO, USA, USSR, 1966 : Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration  
Techn. Note 83, WMO No. 201 TP. 105, Geneva
- WMO, 1969 : in Laevastu et al. 1969 s.d.
- WOLF, G., 1961 : Über die Hydrologischen Verhältnisse in der westlichen Ostsee im November 1953  
Beitr. z. Meeresk. 1 : 39
- WOLF, G., 1972 : Salzwassereinbrüche im Gebiet der westlichen Ostsee  
Beitr. z. Meeresk. 29 : 67
- WOLF, G., 1977 : Über die jahreszeitliche Veränderung der T - S-Eigenschaften quasipermanenter Wasserarten im Fehmarnbelt  
Beitr. z. Meeresk. 39 : 51

- WÜST, G., 1920 : Die Verdunstung auf dem Meere  
Veröff. Inst. f. Meeresk. Berlin, N.F. Reihe A 6
- WÜST, G., 1950 : Wasserdampf und Niederschlag auf dem Meer  
als Glieder des Wasserkreislaufes  
Dt. Hydrogr. Zeitschr. 3 (1/2) : 111
- WÜST, G., 1954 : Gesetzmäßige Wechselbeziehungen zwischen  
Ozean und Atmosphäre in der zonalen Verteilung von Oberflä-  
chensalzgehalt, Verdunstung und Niederschlag  
Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bioklim. A 7 : 305
- WYRTKI, K., 1950 : Über die Verteilung der Trübung in den  
Wassermassen der Beltsee und ihren Zusammenhang mit den  
hydrographischen Faktoren  
Dissertation Inst. f. Meeresk. Univ. Kiel
- WYRTKI, K., 1953, 1954 : Die Dynamik der Wasserbewegung im  
Fehmarnbelt Teil I und II  
Kieler Meeresforsch. 9 (2) : 155 und 10 (2) : 162
- WYRTKI, K., 1954 : Der große Salzeinbruch in die Ostsee im  
November und Dezember 1951  
Kieler Meeresforsch. 10
- YOTSUKARA, N., A.P. JACKMAN, C.R. FAUST, 1973 : Approximation  
of heat exchange at the air-water interface  
Water Resour. Res. 9 (1)
- YOUNG, G.K., M.T.TSENG, R.S. TAYLOR, 1971 : Estuary water  
temperature sensivity to meteorological conditions  
Water Resour. Res. 7 (5) : 1173
- ZEIDLER, R., 1972 : Versuch der Bestimmung der Struktur der  
turbulenten Bewegung des Meeres in ufernaher Zone  
Beitr. z. Meeresk. 30/31 : 129
- ZEIDLER, R., 1975 : Hydromechanics of the waste- and heated  
water discharge to the marine environment and related  
problems  
Oceanology 5 : 5 Warschau
- ZEIDLER, R., 1976 : Küstenströmungen unter Berücksichtigung  
der Ostseeverhältnisse  
Beitr. z. Meeresk. 39